



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

PROJECTE FINAL DE CARRERA

DETECCIÓ DE CANVIS PRODUÏTS PEL DESVIAMENT DE LA DESEMBOCADURA DEL RIU LLOBREGAT AMB IMATGES DEL SATÈL·LIT SPOT

ENGINYERIA TÈCNICA TOPOGRÀFICA

Projectista: Alejandro Sanz Domínguez

Director: Càrol Puig Polo

Convocatòria: Octubre 2011

RESUM

Aquest projecte recull un estudi de detecció de canvis superficials de la zona de la desembocadura del riu Llobregat, provocats pel desviament dels últims 3.5Km del tram del riu l'any 2004, utilitzant tècniques de teledetecció sobre imatges del satèl·lit d'observació terrestre SPOT5, des de l'agost de 2005 fins l'octubre de 2010. L'estudi té com a objectiu detectar els canvis, en vegetació, aigua, sòl urbà i edificacions. S'introdueix en primer lloc, un breu context històric del riu Llobregat, la seva desembocadura i l'obra de desviament. S'explica a continuació el concepte teledetecció i el sistema de satèl·lits SPOT. El nucli o cos del projecte es basa en l'explicació tècnica i descripció de cada mètode de teledetecció utilitzat: adquisició de les imatges de satèl·lit, fusió d'imatges pancromàtiques amb multiespectrals, georeferenciació d'imatges amb captura de dades GPS a camp, aplicacions d'índex d'aigua i de vegetació, classificacions de les imatges i altres tècniques d'anàlisis multitemporals, i una restitució fotogramètrica de les imatges més extremes aportant mapes de canvi en forma de plànols. Per acabar, el projecte aporta dades numèriques dels resultats obtinguts amb aquestes tècniques de teledetecció i les seves conclusions corresponents.

ÍNDIX

1. INTRODUCCIÓ	5
2. OBJECTIUS DEL TREBALL	7
3. CONTEXT HISTÒRIC.....	9
3.1. EL RIU LLOBREGAT	9
3.2. EL DELTA DEL LLOBREGAT	12
3.3. L'OBRA DEL DESVIAMENT DEL TRAM FINAL.....	13
4. LA TELEDETECCIÓ.....	15
4.1. INTRODUCCIÓ A LA TELEDETECCIÓ	15
4.2. ELS SATÈL·LITS SPOT.....	16
4.3. PROGRAMES UTILITZATS.....	19
5. DEFINICIÓ DE L'ÀREA D'ESTUDI	21
6. DADES.....	23
6.1. ADQUISICIÓ DE LES IMATGES.....	23
6.2. CARACTERÍSTIQUES DE LES IMATGES	28
6.3. FUSIÓ DE DADES.....	29
7. METODOLOGIA.....	31
7.1. GEOREFERENCIACIÓ DE LES IMATGES	31
7.1.1. PUNTS AGAFATS AL CAMP PER LA GEOREFERENCIACIÓ	32
7.1.2. INSTRUMENTAL UTILITZAT.....	42
7.2. RETALL DE LES IMATGES.....	43
7.3. ANÀLISIS MULTITEMPORAL	44
7.3.1. ANÀLISI VISUAL	45
7.3.2. ÍNDEX D'AIGUA	46
7.3.3. ÍNDEX DE VEGETACIÓ	47
7.3.3.1. COMBINACIÓ ANALÍTICA DE CAPES NDVI	48
7.3.4. CLASSIFICACIÓ DE LES IMATGES	49
7.3.4.1. CLASSIFICACIÓ NO SUPERVISADA	50
7.3.4.2. CLASSIFICACIÓ SUPERVISADA.....	51
7.3.5. SUBTRACCIÓ D'IMATGES.....	54
7.4. RESTITUCIÓ	55
8. RESULTATS	57
9. CONCLUSIONS	61
10. BIBLIOGRAFIA.....	63
11. AGRAÏMENTS.....	65
12. CONTINGUT DEL CD	67

1. INTRODUCCIÓ

El nostre planeta Terra ha experimentat canvis en la superfície durant tota la seva existència. Des de que es va crear sent una bola de foc amb paisatges purament volcànics i rius de lava fins que es va refredar creant l'atmosfera, els oceans i, per la deriva continental de Pangea, els continents. Poc després, parlem de milions d'anys, degut a la tectònica de plaques i els seus marges, es van crear les formes de relleu, rius i altres fenòmens físics que existeixen avui dia en la superfície del nostre planeta. Tots aquets canvis han sigut íntegrament naturals, provocats per la física i la química existent en l'univers, i han necessitat grans períodes de temps per crear-se.

La Terra ha estat girant durant 5.000 milions d'anys, l'espècie humana només ha estat en els últims 250.000 anys. Tot i així hem sigut l'espècie que més hem modificat el medi ambient. L'existència de l'ésser humà a la Terra ha sigut un esdeveniment clau pels canvis naturals. Aquests darrers segles ha estat la humanitat qui ha agafat el protagonisme en l'alteració del paisatge, modificant cada cop més profundament i més ràpidament la coberta del sòl.

La modificació de l'ús del sòl no es produeix a tot arreu de la mateixa manera, ni tampoc de manera aleatòria. Es concentra en uns llocs determinats, normalment a la perifèria d'àrees que han experimentat canvis recentment i, sobretot, al litoral i al costat de ciutats mitjanes i grans. Els canvis, que en el passat han estat provocats per un conjunt de forces sociològiques actuant de manera caòtica (per exemple, les guerres), ara estan mediatitzats i dirigits per la planificació del territori.

La visualització i anàlisi d'aquets canvis en la superfície terrestre ha fet que l'ésser humà desenvolupés grans quantitats de tècniques d'estudi, essencialment, a mitjans del segle XXI es capturés la primera imatge fotogràfica aèria des d'un globus, passant per l'evolució de les càmeres i sensors fotogramètrics, fins a la utilització de tècniques de teledetecció, gràcies a la informació proporcionada pels satèl·lit artificials d'observació terrestre enviats a l'espai a finals del segle XX.

Concretament, el Delta de Llobregat ha patit grans canvis en els últims 10 anys, com a conseqüència del desviament dels últims 3,5 km del riu Llobregat en la seva desembocadura al mar Mediterrani necessari per l'ampliació del port de Barcelona i el creixement dels polígons industrials de la zona. Com a conseqüència d'això, s'han construït noves i costoses infraestructures, abandonant l'antiga llera del riu i creant una de nova. L'impacte en el medi és evident, ja que s'han generat grans canvis en superfícies, afectant a diferents factors com la vegetació o el sòl urbà, que poden ser motiu d'estudi.

La teledetecció com a base, i pilars com la fotogrametria i el tractament de dades GPS, faran possible l'estudi per detectar els canvis superficials ocasionats i provocats pel polèmic desviament humà de la desembocadura del riu Llobregat l'any 2004, aplicant tècniques d'anàlisi multitemporals a imatges del satèl·lit d'observació terrestre Spot-5, actualment operatiu en òrbita.

Com a estudiant i futur Enginyer Tècnic en Topografia, he volgut realitzar el projecte de final de carrera de l'estudi de detecció de canvis produïts pel "forçós" desviament del riu Llobregat en la seva desembocadura. En primer lloc perquè hem seduïa la idea de treballar amb tècniques de teledetecció, una assignatura que anirà agafant més protagonisme al llarg dels anys, i en segon lloc per la proximitat de l'esdeveniment i curiositat en l'impacte produït sobre el medi.

2. OBJECTIUS DEL TREBALL

L'objectiu principal d'aquest projecte és detectar, identificar i avaluar els grans canvis en superfícies naturals (sòl urbà, aigües, vegetació...) produïts per la modificació del traçat dels últims 3,5 Km del riu Llobregat en la seva desembocadura, realitzant una comparació d'imatges anteriors i posteriors al desviament. Intentarà justificar, o no, aportant resultats numèrics dimensionals (superfícies), la desaparició d'espais naturals i la creació de nous, així com altres fenòmens naturals.

Aquestes imatges seran imatges captades per satèl·lits d'observació terrestre i es realitzarà l'estudi aplicant les principals tècniques de teledetecció per arribar a obtenir resultats en forma numèrica o estadística (unitats dimensionals) que ens permetran arribar a conclusions en la identificació dels canvis produïts per aquest fenomen artificial.

La metodologia a seguir prevista serà:

- Selecció de les imatges, escollint l'any i la resolució adequada per realitzar l'estudi.
- Tractament de les imatges:
 - Georeferenciació, capturant punts de control al camp amb instruments geodèsics (GPS) pel seu posterior processament en gabinet de transformació de sistemes de referència (dàtums WGS84 i ED50) i la seva introducció a les imatges.
 - Correcció atmosfèrica de les imatges, eliminant qualsevol anomalia radiomètrica de les imatges, reflectàncies o distorsions.
 - Detecció i posterior eliminació de núvols aplicant diferents filtres.
 - Ocultació i efecte topogràfic, aplicant un model d'elevació per que no quedin ocultes zones no visibles pel relleu.
- Classificació de les imatges, realitzant una classificació supervisada per extreure cartografia temàtica així com informació estadística del nombre de píxels assignats a cada categoria.
- Aplicacions de diferents tècniques d'anàlisi multitemporal a les imatges.
- Obtenció d'estadístiques i gràfics per a cada època analitzada amb els resultats obtinguts.
- Elaboració de mapes de canvis, resultats i conclusions.

3. CONTEXT HISTÒRIC

3.1. EL RIU LLOBREGAT

El riu Llobregat constitueix un dels eixos fluvials més importants a Catalunya. Té 156 Km de longitud i el cabal mig supera els 20 m³/s. Neix en terres prepirinenques a Castellar de N'Hug a 1.280 metres d'altitud, i desemboca en el Mediterrani, en el municipi del Prat de Llobregat, en plena àrea metropolitana de Barcelona.

Travessa les comarques del Berguedà, el Bages i el Baix Llobregat. El seus afluents principals són el Cardener i l'Anoia.

El riu Llobregat sempre ha estat molt relacionat amb la indústria catalana, de manera que al llarg del seu curs podem trobar nombroses colònies tèxtils. Al curs alt, el pantà de la Baells regula el cabal i genera electricitat.

Actualment bona part del seu curs està canalitzat, però en èpoques no molt llunyanes ha causat inundacions importants.

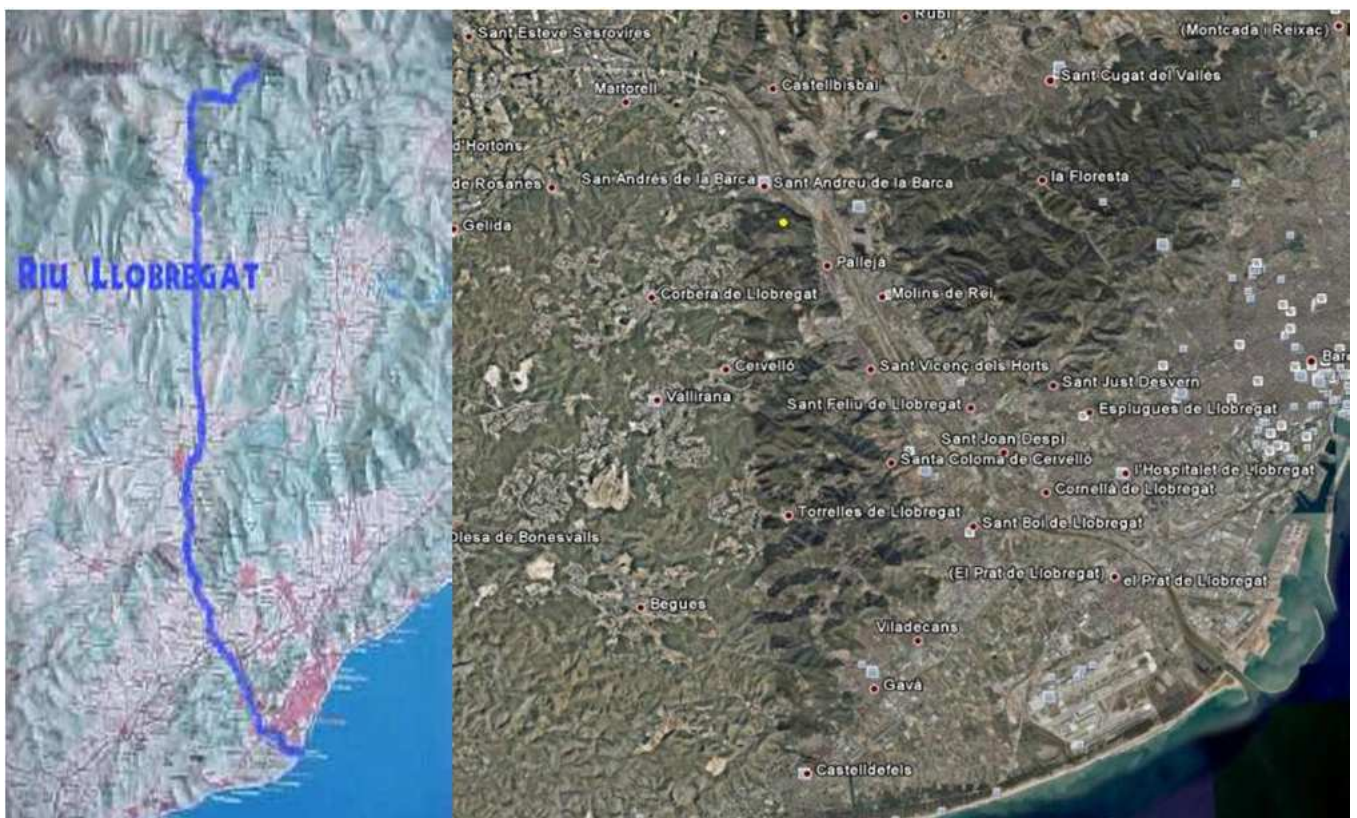


Figura 1. A la imatge de la dreta podem veure la trajectòria del riu Llobregat i a la imatge de l'esquerra les poblacions properes a la seva desembocadura

Naixement del Riu Llobregat

Municipi: Castellar de N'Hug, Comarca: Berguedà, Província: Barcelona

ED50

ETRS89

42°17'6.93" N

42°17'2.12" N

2°1'1.32" E

2°0'56.44" E

Fus 31

Fus 31

UTM X: 418954

UTM X: 418844

UTM Y: 4682002

UTM Y: 4681788



Figura 2. Cartografia del Instituto Geográfico Nacional del naixement del riu Llobregat

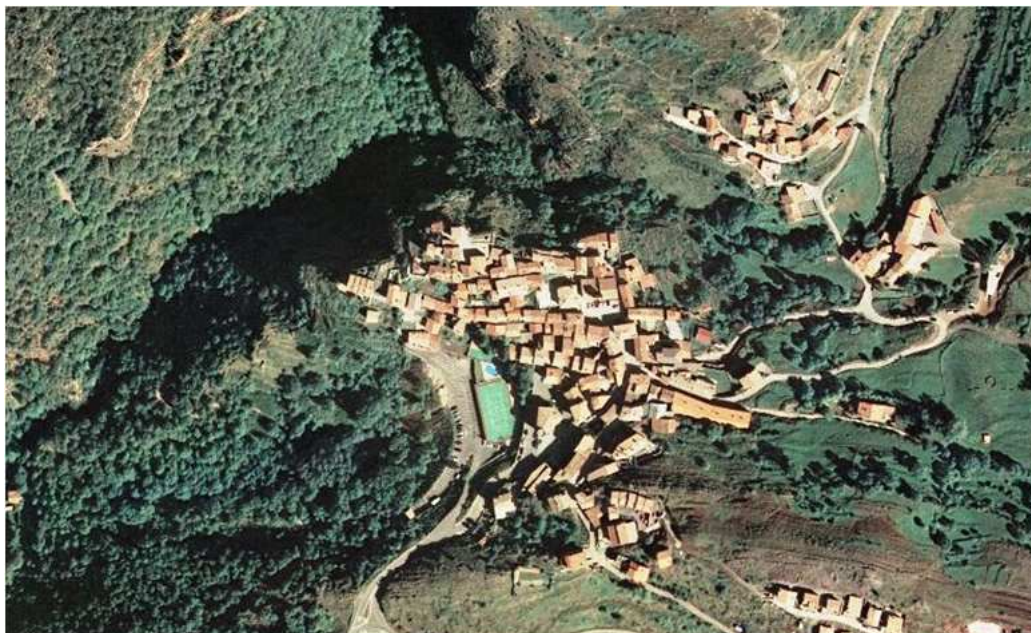


Figura 3. Imatge Ortofoto (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea de España, PNOAE, IGN)

Desembocadura del riu Llobregat

Municipi: El Prat de Llobregat, Comarca: Baix Llobregat, Província: Barcelona.

ED50

ETRS89

41°17'57.97" N

41°17'54.11" N

2°8'20.86" E

2°8'16.52" E

Fus 31

Fus 31

UTM X: 427924

UTM X: 427825

UTM Y: 4572436

UTM Y: 4572238



Figura 4. Cartografia del Instituto Geográfico Nacional de la desembocadura del riu Llobregat



Figura 5. Plan Nacional de Teledetección (PNT), IGN ©CNES 2009, Distribución Spot Image S.A.

3.2. EL DELTA DEL LLOBREGAT

El delta del Llobregat està format per una extensa plana que ocupa 98 km² entre el massís del Garraf i Montjuïc, i el congost de Sant Andreu de la Barca al nord. Ha tingut diferents boques de riu que amb el temps han anat creant les llacunes litorals.

Per la naturalesa dels materials que el formen, té una capa d'aigües subterrànies, l'aqüífer, que ha possibilitat la transformació de l'agricultura i ha facilitat que se'n fes un ús humà intensiu; de fet, és una de les zones agrícoles més riques de la Mediterrània. El delta del Llobregat és el segon delta en extensió de Catalunya i conserva un dels aiguamolls més importants del país.

Els espais naturals del delta del Llobregat tenen un equilibri constant però dinàmic, tenen uns valors naturals intrínsecs que els atorguen importància mundial, i uns valors estratègics quant a l'ús públic i l'educació ambiental de primera magnitud. Gestionar-los i conservar-los és una prioritat i, per això, es va crear a l'any 2005 el Consorci per a la Protecció i la Gestió dels Espais Naturals del Delta del Llobregat.

El Delta del Llobregat es va començar a formar fa aproximadament 18.000 anys, però només en fa uns 2.300 anys que el nivell del mar es va estabilitzar i es va iniciar la formació del delta actual, que pateix contínues transformacions, determinades pel difícil equilibri entre el mar i la terra i per les variacions del riu. El delta actual és un espai transformat per l'acció humana. Les diferents etapes han deixat empremta sobre el territori, que s'ha convertit en un mosaic de paisatges: espais naturals, conreus, zones urbanes, industrials i de serveis, xarxa viària i ferroviària, i infraestructures com el Port i l'Aeroport.

En aquestes dues imatges extretes de l'història *Google Earth* podem observar el canvi que ha realitzat el delta del Llobregat en la desembocadura del riu provocat per l'obra del desviament.



Figura 6. Imatge Nasa, ©Geoeye, Data SIO, NOAA, U.S. Navy
(13 d'Agost de 2001)



Figura 7. Imatge ICC, ©Digital Globe, Data SIO, NOAA
(13 d'Abril de 2009)

3.3. L'OBRA DEL DESVIAMENT DEL TRAM FINAL

Barcelona ha sigut una ciutat que ha crescut exponencialment durant els últims 25 anys. Al començament d'aquest segle es va idear l'ampliació del port i de polígons industrials, cosa que provocava realitzar un desviament del riu Llobregat en la seva desembocadura per aconseguir aquest l'espai necessari. A finals de setembre de 2004 i després de dos anys d'obres, es va inaugurar el desviament del tram final del riu. Aquesta obra va suposar una inversió d'uns 50 milions d'euros i permetia, entre altres coses, l'ampliació del port de Barcelona i evitar inundacions en cas de grans avingudes d'aigua. En concret, el desviament va suposar la modificació del traçat dels últims 3,5 Km del riu Llobregat desviant el seu últim recorregut dos quilòmetres i mig.

En aquest punt hi ha la llacuna de Cal Tet, de 75 hectàrees, que s'ha creat per compensar la desaparició d'espais naturals provocats pel desviament del riu. Això ha permès recuperar la fauna del delta i recarregar l'aqüífer subterrani, un immens dipòsit natural d'aigua que alimenta centenars d'empreses i algunes companyies d'abastament de l'àrea metropolitana. També s'ha guanyat una nova platja i s'han regenerat pinedes.

L'objectiu del conveni realitzat per la Generalitat de Catalunya va ser preparar la infraestructura necessària perquè Barcelona es convertís en la plataforma logística de distribució del sud d'Europa, i abordar projectes de gran magnitud, en què es prevegin, entre d'altres, el desviament i canalització del riu Llobregat, la depuradora del Baix Llobregat, l'ampliació del port de Barcelona, l'ampliació de l'aeroport del Prat de Llobregat, la urbanització de la zona ZAL, i una nova xarxa viària i ferroviària.

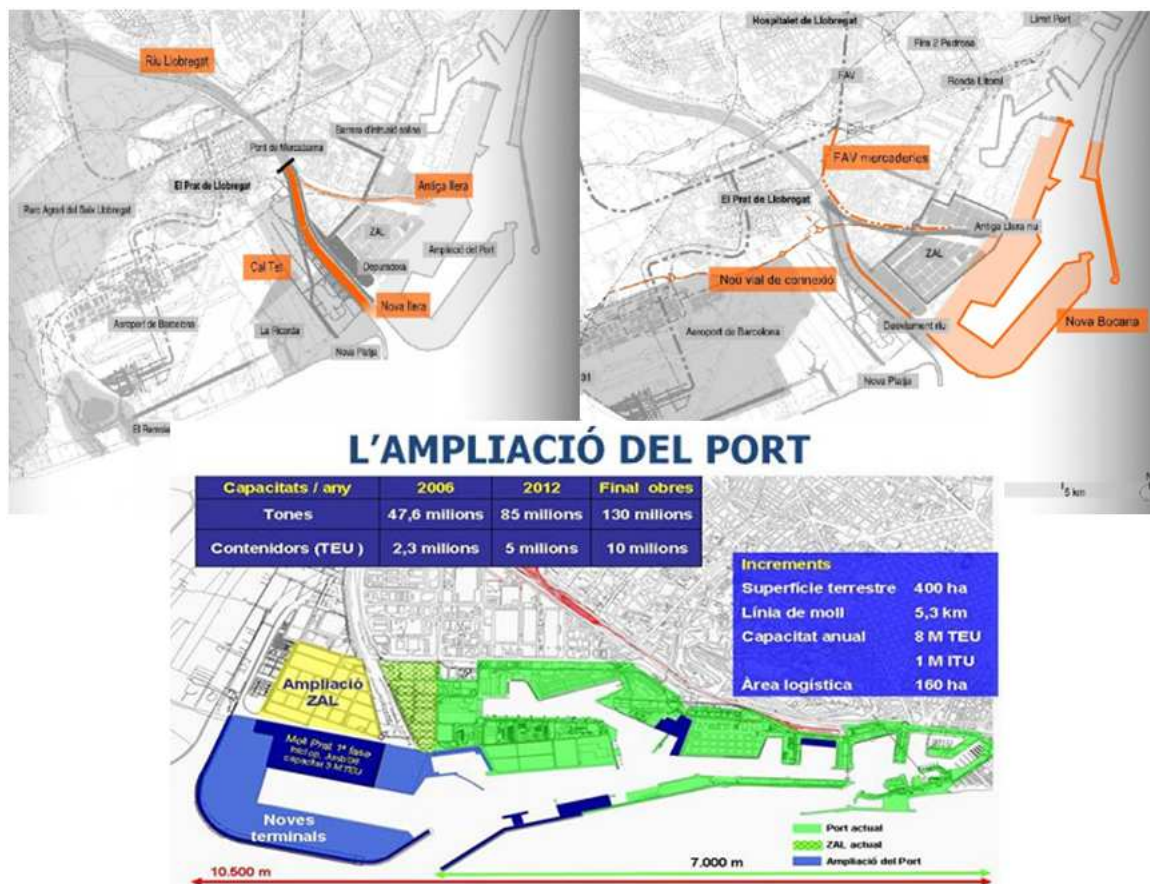


Figura 8. Imatges de l'obra d'ampliació portuària amb corresponent desviament del riu (<http://territori.scot.cat/>)

4. LA TELEDETECCIÓ

4.1. INTRODUCCIÓ A LA TELEDETECCIÓ

La teledetecció és la tècnica o conjunt de tècniques que permeten observar i obtenir informació, en forma d'imatge, de la superfície terrestre o d'un determinat objecte situat a una certa distància de l'observador, mitjançant sensors situats en avions o satèl·lits artificials. La interacció electromagnètica entre el terreny i el sensor genera una sèrie de dades que són processades posteriorment per obtenir imatges, informació interpretable de la superfície terrestre.

Qualsevol sistema de teledetecció està compost pels següents elements bàsics: Font d'energia, objecte observant, sensor i un sistema de recepció-comercialització.

Les imatges de satèl·lits permeten obtenir informació geogràfica i ambiental del nostre territori de forma periòdica i amb una resolució espacial adequada. La resolució espacial és la dimensió de la unitat mínima d'informació inclosa en una imatge que es denomina píxel; per tant, seran discriminables sobre la imatge els elements captats de dimensions superiors o iguals als del píxel.

El primer satèl·lit d'observació de la Terra va ser llançat pels Estats Units d'Amèrica l'any 1972, iniciant llavors les tècniques de teledetecció, poc utilitzades fins fa uns anys degut a l'alt cost que suposava treballar amb imatges de satèl·lits.

Avui dia, són cada vegada més les empreses i organismes públics que incorporen l'ús sistemàtic de les imatges en els seus diferents projectes, ja que poden resultar molt avantatjoses per a multitud d'aplicacions: agricultura, urbanisme, medi ambient, actualització de bases de dades cartogràfiques, etc.

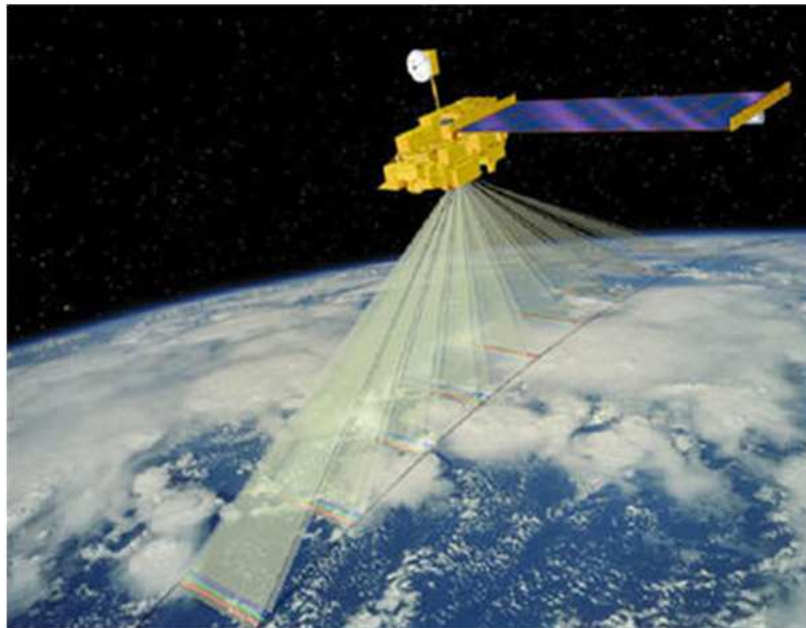


Figura 9. Exemple del funcionament d'un satèl·lit d'observació terrestre

4.2. ELS SATÈL·LITS SPOT

Els satèl·lits **Spot** (Sistema Probatori d'Observació de la Terra) són una sèrie de satèl·lits artificials de teledetecció civil **d'observació terrestre**, dissenyats per observar la Terra des d'una òrbita. Són similars als satèl·lits espies però dissenyats específicament per a aplicacions no militars com a control del medi ambient, meteorologia, **cartografia**, etc.

El programa Spot va ser aprovat l'any 1978 per França, i va ser desenvolupat pel CNES (Centre Nacional d'Estudis Espacials francès) en col·laboració amb Bèlgica y Suècia. Està format per una sèrie de satèl·lits e infraestructures terrestres per controlar i programar satèl·lits així com per reproduir les imatges. Els satèl·lits van ser construïts i dissenyats per l'empresa Matr (convertida ara en EADS Astrium), junt amb Aerospatiale/Satelits (convertida més endavant en Thales Alenia Space). Les imatges Spot es comercialitzen a través de la societat Spot imatge:



Analitzant el context històric, el sistema Spot es divideix en 4 generacions:

La **1ª generació** correspon a la del **Spot-1, 2 i 3**, satèl·lits llençats entre finals de la dècada dels 80 i principis de la del 90. Aquests satèl·lits produïen imatge pancromàtiques de 10 metres de resolució i multiespectrals de 20.

La **2ª generació** del sistema correspon al satèl·lit **Spot-4**, el primer en ser dotat del sensor VEGETATION 1, i capaç de produir imatges monocromàtiques (en el canal del vermell) a 10 metres de resolució.

La **3ª generació**, i la més important, correspon a la de l'**Spot-5**. Les imatges utilitzades en aquest projecte han sigut adquirides per aquest sensor. En la següent imatge podem veure quin aspecte té el Spot5 en òrbita:



Figura 10. Imatge del SPOT-5 en òrbita

L'Spot5 va ser col·locat en òrbita al Maig de 2002 amb la llançadora Ariane 42P (Vol 151) i la innovació més important és la introducció del **Super-Modus Pancromàtic**, que permet la creació d'una imatge amb **2,5 metres** de resolució a partir de dos imatges de 5 metres adquirides simultàniament amb semi píxel de desfase. La seva combinació es realitza mitjançant tècniques

avançades de tractament i restauració d'imatges (apartat **Fusió d'imatges**). Cal valorar l'èxit d'aquesta generació ja que l'Spot-5 tenia una vida útil a priori de 5 anys, però posteriors reconstruccions i millores han fet que, a dia d'avui, aquest satèl·lit **encara estigui en òrbita i plenament operatiu**. L'Spot-5 també incorpora VEGETATION-2, successora del VEGETATION-1 que portava a bord l'Spot-4. També té la capacitat d'obtenir **pars estereoscòpics** millorats gràcies a l'instrument ARE (Alta Resolució Estereoscòpica). En aquestes imatges es pot veure el funcionament de l'Spot-5 a l'hora de realitzar el procés de captura de les imatges.

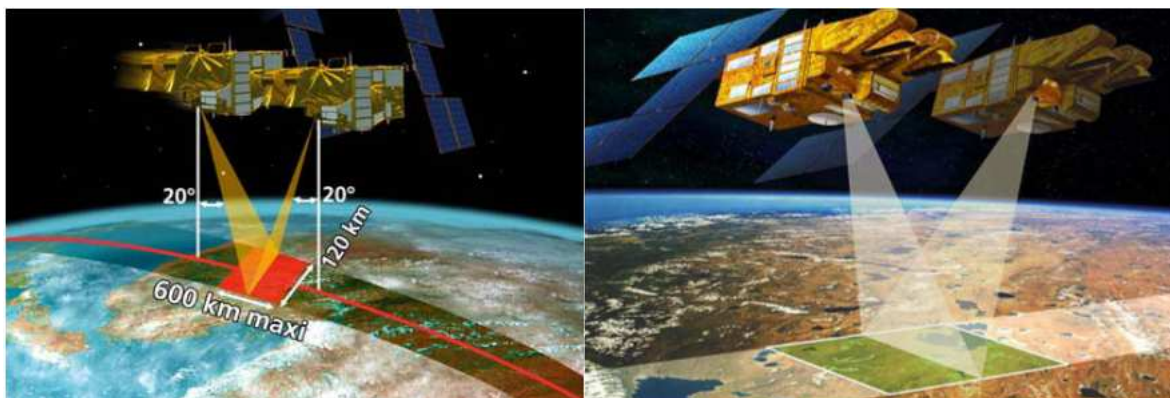


Figura 11. Exemple del funcionament del satèl·lit SPOT5 a l'hora de recollir les imatges

La **4^a generació**, l'**Spot-6 i -7**, està en període d'estudi. Està previst el seu llançament l'any 2012 i 2013 respectivament, i permetran obtenir imatges de resolució 1,5 metres tant en pancromàtic com multiespectral, amb una capacitat d'adquisició de 3 milions de km² al dia i es preveu que estiguin operatius fins l'any 2023.

A continuació podem veure un quadre comparatiu de les característiques tècniques principals de les tres generacions del sistema SPOT:

	Característiques generals				
	SPOT 5	SPOT 4	SPOT 3	SPOT 2	SPOT 1
Data de llençament	4/05/2002	24/03/1998	26/09/1993	22/01/1990	22/02/1986
Llençadora	Ariane 4		Ariane 2/3		
Vida útil nominal	5 anys		3 anys		
Data de desorbitació	Encara en òrbita		nov-96	30-jul-09	17-nov-03
Òrbita	Polar, Cicular, Heliosíncrona i en Fase	Heliosíncrona			
Velocitat del satèl·lit	7,4 km/s				
Duració del cicle orbital	26 dies				
Massa total	3 000 kg	2 760 kg	1 800 kg		
Dimensions	3,1 x 3,1 x 5,7 m	2 x 2 x 5,6 m	2 x 2 x 4,5 m		
Capacitat de registre	1 memòria auxiliar de 90 Gbits (~ 210 imatges de 144 MB)	2 registradores de 120 Gbits cadascun més 1 memòria auxiliar de 9 Gbits (~ 560 imatges de 36 MB)	2 registradores de 60 Gbits cadascun (~ 280 imatges de 36 MB)		
Processament d'imatges a bord	5 imatges adquirides simultàniament 2 transmeses a la Terra i 3 emmagatzemades a bord	2 imatges adquirides simultàniament.	2 imatges adquirides simultàniament (només mode pancromàtic)		
Bandes espectrals i resolució	2 pancromàtiques a 5 m, que permeten generar un producte a 2,5 m 3 multiespectrals a 10 m 1 infraroig mig a 20 m	1 monoespectral a 10 m 3 multiespectrals a 20 m 1 infraroig mig a 20 m	1 monoespectral a 10 m 3 multiespectrals a 20 m		
Espectre electromagnètic	P: 0,48 – 0,71 µm B1 (verde): 0,50 – 0,59 µm B2 (rojo): 0,61 – 0,68 µm B3 (infrarrojo cercano): 0,78 – 0,89 µm B4 (infrarrojo medio): 1.58 – 1.75 µm	M: 0,61 – 0,68 µm B1 (verde) : 0,50 – 0,59 µm B2 (rojo): 0,61 – 0,68 µm B3 (infrarrojo cercano): 0,78 – 0,89 µm B4 (infrarrojo medio): 1.58 – 1.75 µm	P: 0,51 – 0,73 µm B1 (verde): 0,50 – 0,59 µm B2 (rojo): 0,61 – 0,68 µm B3 (infrarrojo cercano): 0,78 – 0,89 µm		

Taula 1. Característiques generals dels satèl·lits SPOT

Una de les grans avantatges del sistema Spot, concretament del Spot-5, és la seva capacitat de **desalineació** del seu instrument d'obtenció d'imatges principals respecte la seva **òrbita**. Aquesta flexibilitat en l'adquisició proporciona un elevat increment de possibilitats per a estudis de freqüència temporal o de revisita. És per això que aquest satèl·lit es pot col·locar en òrbita polar, circular, en fase i **heli síncrona** (la més empleada), totes elles a **822 Km d'altitud** aproximadament:

L'òrbita polar: La rotació de la Terra al voltant de l'eix polar, tenint en compte la inclinació del pla orbital (98 graus), permet al satèl·lit sobrevolar la terra en la seva totalitat en el transcurs d'un cicle de 26 dies.

L'òrbita circular: Per poder comparar les imatges preses en dos localitzacions diferents, aquestes s'han d'adquirir a la mateixa altitud. L'òrbita ha de ser circular (el·lipsoïdal) en la seva totalitat ja que l'altitud ha de ser constant en relació a la superfície de la Terra.

L'òrbita en fase: Cada satèl·lit observa una zona cada 26 dies. Durant aquets 26 dies, efectuen un numero enter de revolucions (369) y les seves traces sobre la superfície de la Terra repeteixen les primeres (el satèl·lit efectua $14+5/26$ revolucions per dia).

L'òrbita heli síncrona: Per poder comparar les observacions d'una zona determinada amb dates diferents, les imatges han de ser preses en condicions d'il·luminació similars. Per aquets efectes, el pla orbital ha de formar un angle constant en relació a la direcció del Sol, a fi de que el satèl·lit sobrevoli sempre la zona precisa a la mateixa hora local (nus descendent a 10.30 h). En aquesta imatge podem veure un esquema de funcionament d'aquest tipus d'òrbita:

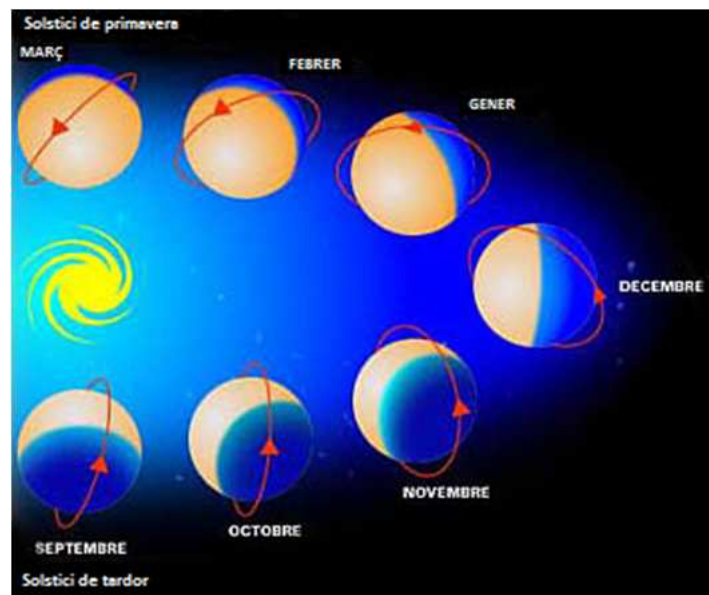


Figura 12. Esquema del funcionament del satèl·lit en òrbita heli síncrona

4.3. PROGRAMES UTILITZATS

Per a la realització d'aquest projecte de teledetecció, el tractament de les imatges del satèl·lit SPOT i per l'automatització de processos fotoanalítics necessaris per obtenir resultats per l'elaboració de l'estudi de detecció de canvis, s'han utilitzat els programes més importants actualment en el sector de la teledetecció i la fotogrametria. Cada software ha sigut utilitzat per a realitzar diferents tasques d'automatitzacions. A continuació s'exposen els diferents programes utilitzats amb les tasques empleades:



-MIRAMON v7.0: MiraMon és un Sistema d'Informació Geogràfica (SIG) i software de Teledetecció desenvolupat de forma cooperativa per part de diferents membres del Grup de Recerca Consolidat GRUMETS pertanyents al Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF) i a la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Permet visualització, consulta, edició i anàlisi tant de capes ràster (imatges de teledetecció, ortofotos, models digitals del terreny, mapes temàtics convencionals amb estructura ràster, etc) com de capes vectorials (mapes temàtics o topogràfics que continguin punts, línies o polígons, etc), com de capes WMS. Utilitzat en el procés de **georeferenciació** de la imatge, **retall** de la imatge i la **combinació analítica** de les capes ràster per extreure informació numèrica.



-ERDAS Imagine v9.1: Actualment és l'eina més potent i més completa del mercat del sector de la teledetecció. Erdas és un software desenvolupat per Leica Geosistems que ens permet obtenir tot tipus d'informació geoespacial de qualsevol imatge per satèl·lit ja que incorpora un extens llistat de processos fotoanalítics. Concretament, aquest programa ha sigut empleat pel procés de **classificació de imatges** realitzant les àrees d'entrenament en la seva totalitat. Aquesta eina també ha sigut utilitzada pel procés de **fusió d'imatges** (pancromàtica + multiespectral).

5. DEFINICIÓ DE L'ÀREA D'ESTUDI

El primer pas abans de començar el projecte és definir aproximadament els límits de la zona o àrea on volem realitzar l'estudi de detecció de canvis amb imatges multi temporals. Concretament, s'ha escollit la desembocadura del riu Llobregat, agafant la llera antiga i nova del riu, l'ampliació del port i el nou polígon industrial ZAL. En aquestes imatges podem veure l'àrea seleccionada, frontera amb el municipi del Prat de Llobregat i Barcelona.



Figura 14. Composició d'imatges que mostren la situació geogràfica del delta del Llobregat



Figura 15. Àrea d'estudi definida desitjada a priori

6. DADES

6.1. ADQUISICIÓ DE LES IMATGES

Per obtenir les imatges necessàries per aquest estudi de teledetecció s'han tingut que realitzar els següents passos:

-Primerament, a la web de l'Institut Geogràfic Nacional (www.ign.es), el portal de caràcter divulgatiu y orientatiu que posa a disposició de qualsevol persona tota la informació cartogràfica i fotogramètrica del país. Concretament, l'apartat destinat a la teledetecció, es troba a Activitats, Fotogrametria i Teledetecció.



-En aquest apartat accedim directament a l'accés directe del PNT, acrònim de Plan Nacional de Teledetecció (<http://www.ign.es/PNT>), un projecte estretament relacionat amb el món de la teledetecció que té com a objectiu fonamental coordinar l'adquisició d'imatges per satèl·lit del territori espanyol, realitzar tractaments bàsics a aquestes imatges i distribuir-les de forma gratuïta a tota l'Administració Pública, tant estatal com local, universitats i organismes públics d'investigació. El PNT s'emmarca junt a altres projectes dintre del PNTOT, Pla Nacional d' Observació del Territori. Està coordinat per l'Institut Geogràfic Nacional i el Centre Nacional d' Informació Geogràfica, aquests dos organismes formant part del Ministeri de Foment.

-En l'apartat de Documentació podem consultar totes les especificacions tècniques de les imatges d'alta resolució SPOT així com totes les cobertures des de 2005, any en el que va començar l'adquisició d'imatge del diferents satèl·lit espacials per part del PNT, en diferents mesures de píxel i junt amb altres productes derivats. Per demanar les imatges, vam escriure mail al contacte adjunt a la web (pnt@ign.es) sol·licitant les imatges SPOT interessades.

-En menys d'una setmana vam rebre la resposta i un seguit d'instruccions prèvies a l'adquisició de les imatges: omplir una fitxa en Excel amb tota la informació sol·licitada, signar una llicència per l'ús d'imatges per satèl·lit i proporcionar al PNT una IP d'entrada i sortida per la descàrrega de les imatges en qüestió.

-Finalment, poc després d'omplir tota la informació demanada i posteriorment reenviada, vam rebre el link del servidor on estaven emmagatzemades les imatges que vam descarregar via FTP.

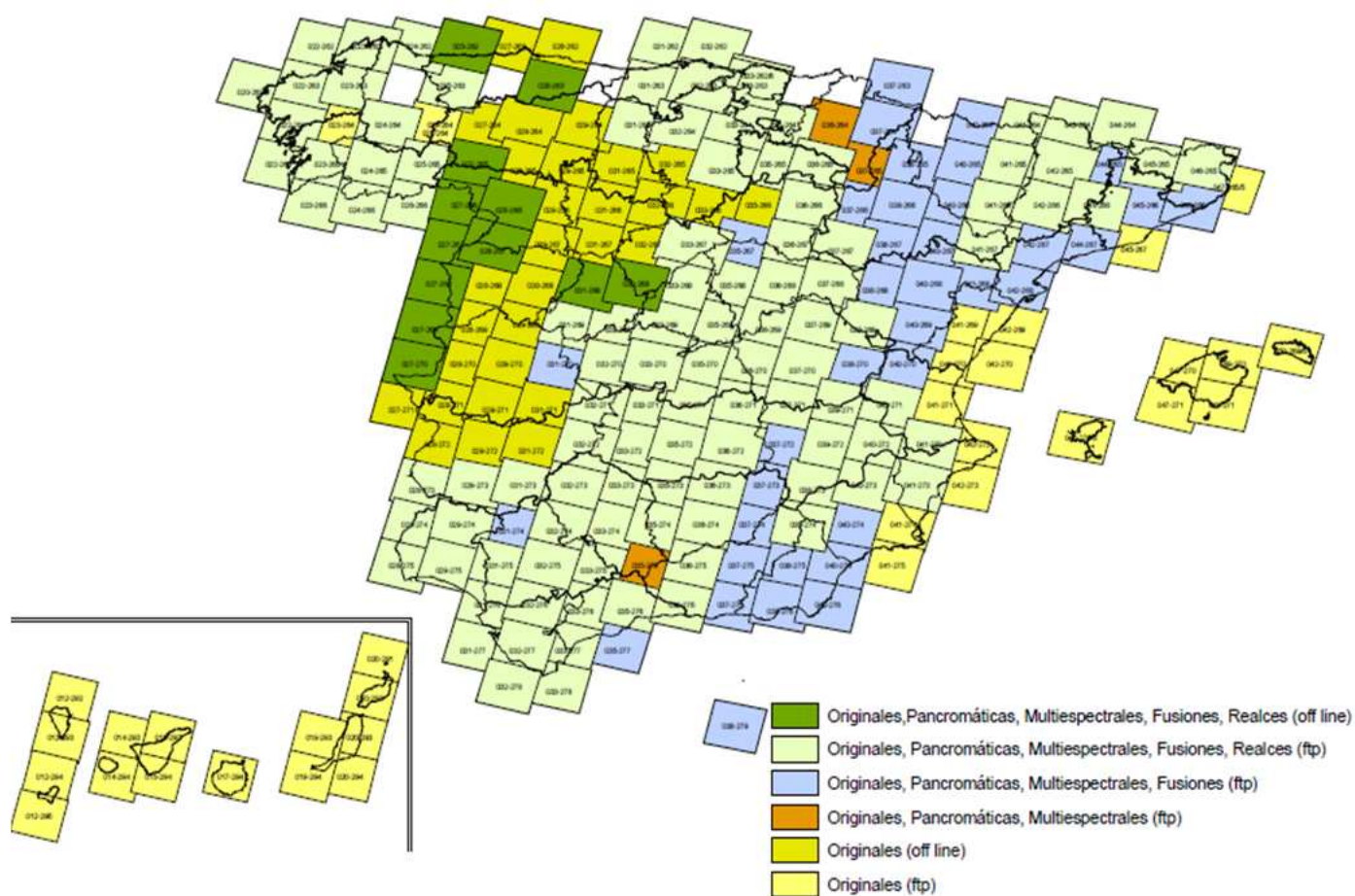


Figura 16. Estat de la cobertura del SPOT5 a nivell nacional (PNT)

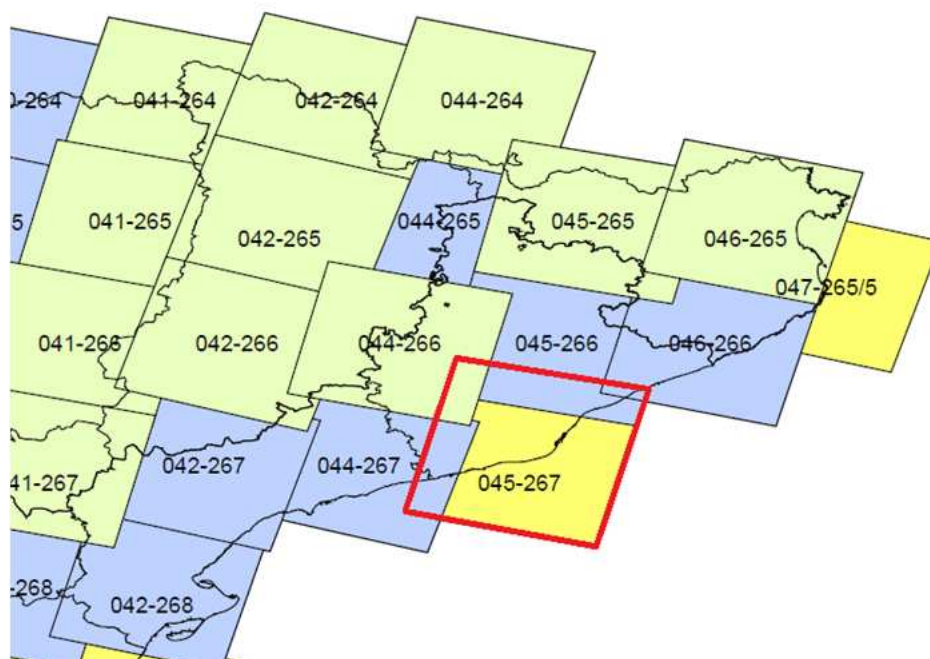


Figura 17. Escena seleccionada (45-267)

A continuació s'exposa una mostra de les imatges adquirides. Concretament la imatge pancromàtica SPOT5 del 2005 adquirida, podem observar la seva alta definició espacial, 2,5 metres de resolució, en aquesta ampliació al port de Barcelona:

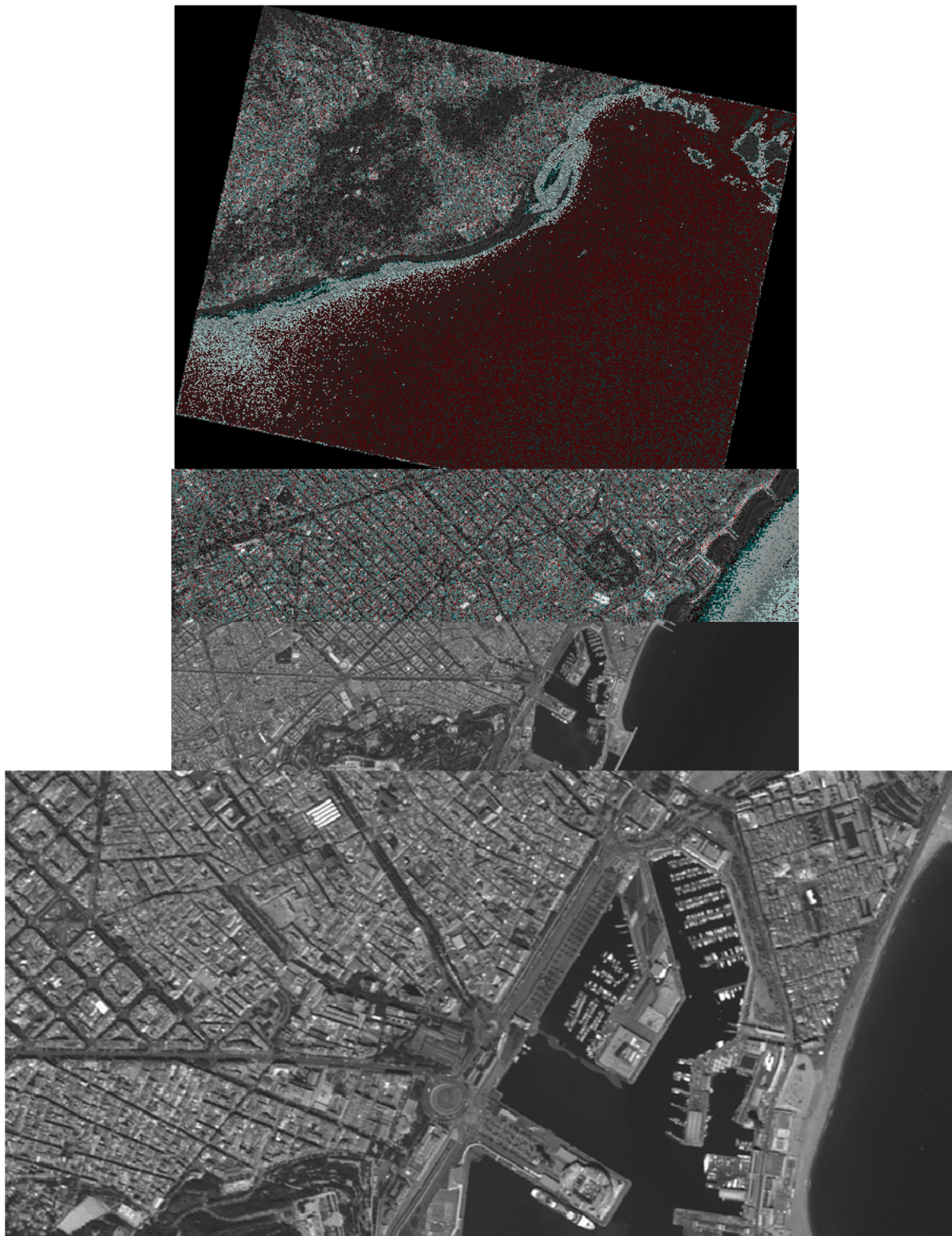


Figura 18. Imatge original adquirida de 2005 pancromàtica

A continuació s'exposa també la imatge SPOT5 multiespectral de l'any 2008, podem veure la seva baixa resolució espacial (10 metres), però la seva alta resolució espectral, ja que la podem visualitzar amb la combinació de bandes que desitgem:



Figura 19. Imatge original adquirida de 2005 multiespectral

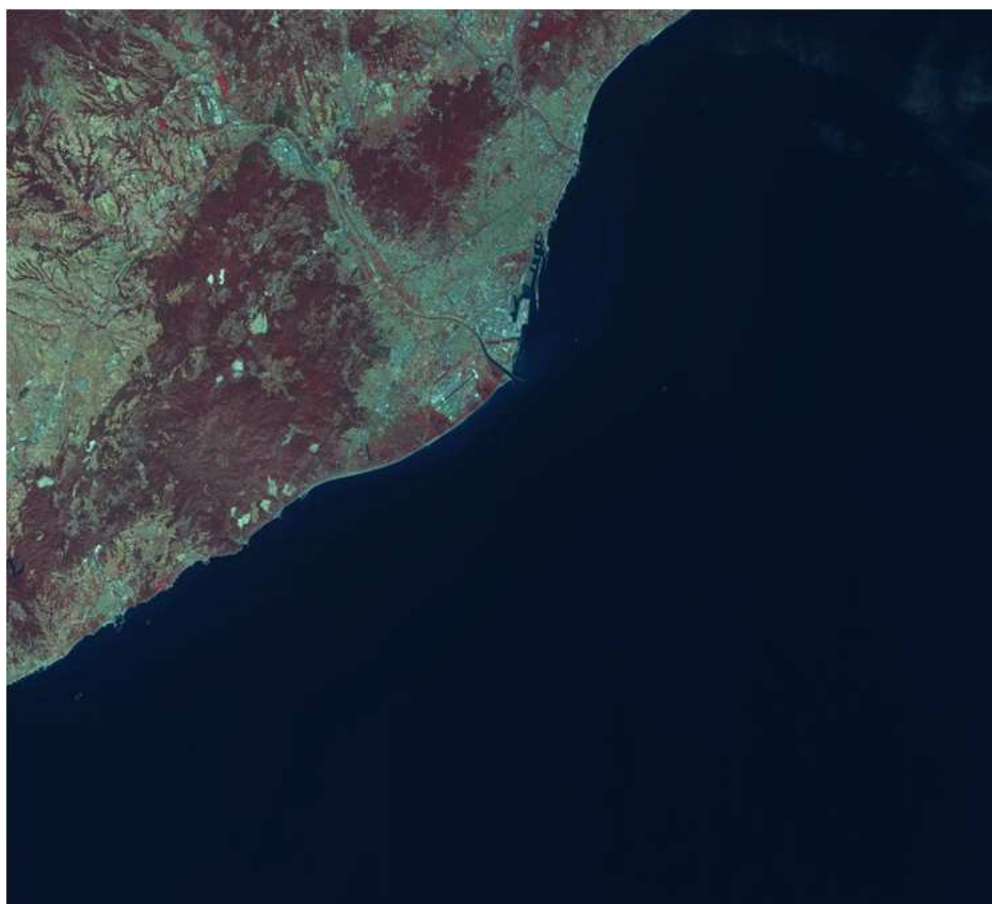


Figura 20. Combinació espectral 321(Verd, Vermell, Infraroig proper) de la imatge de 2005

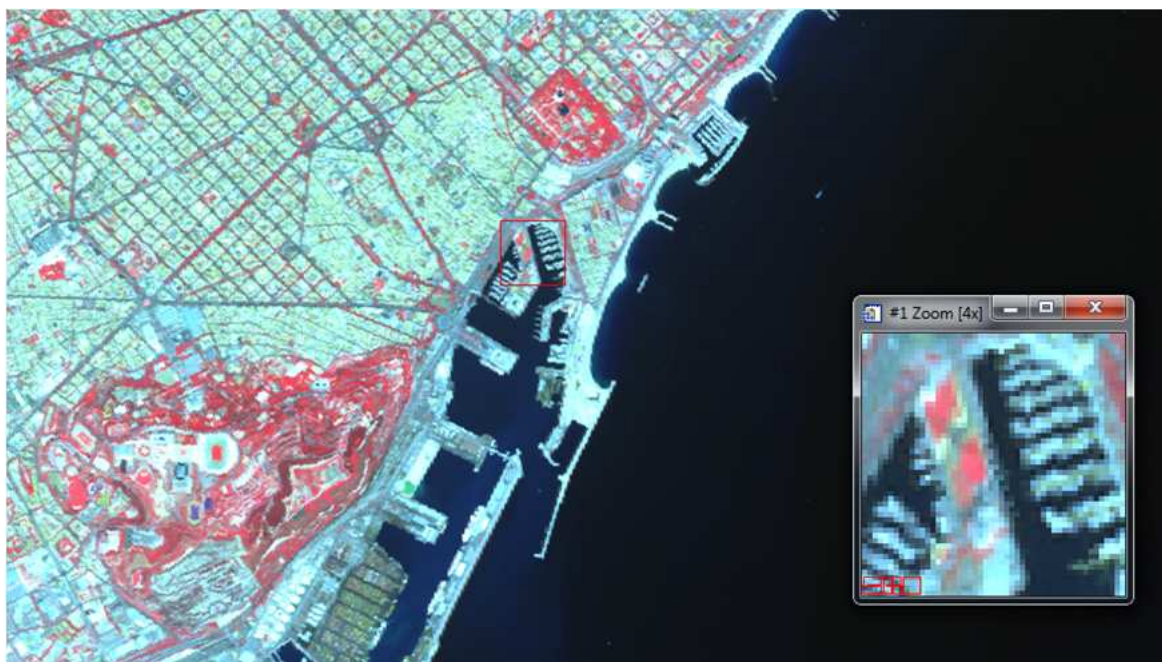


Figura 21. Combinació espectral 123(Infraroig proper, Vermell, Verd) de la imatge de 2005

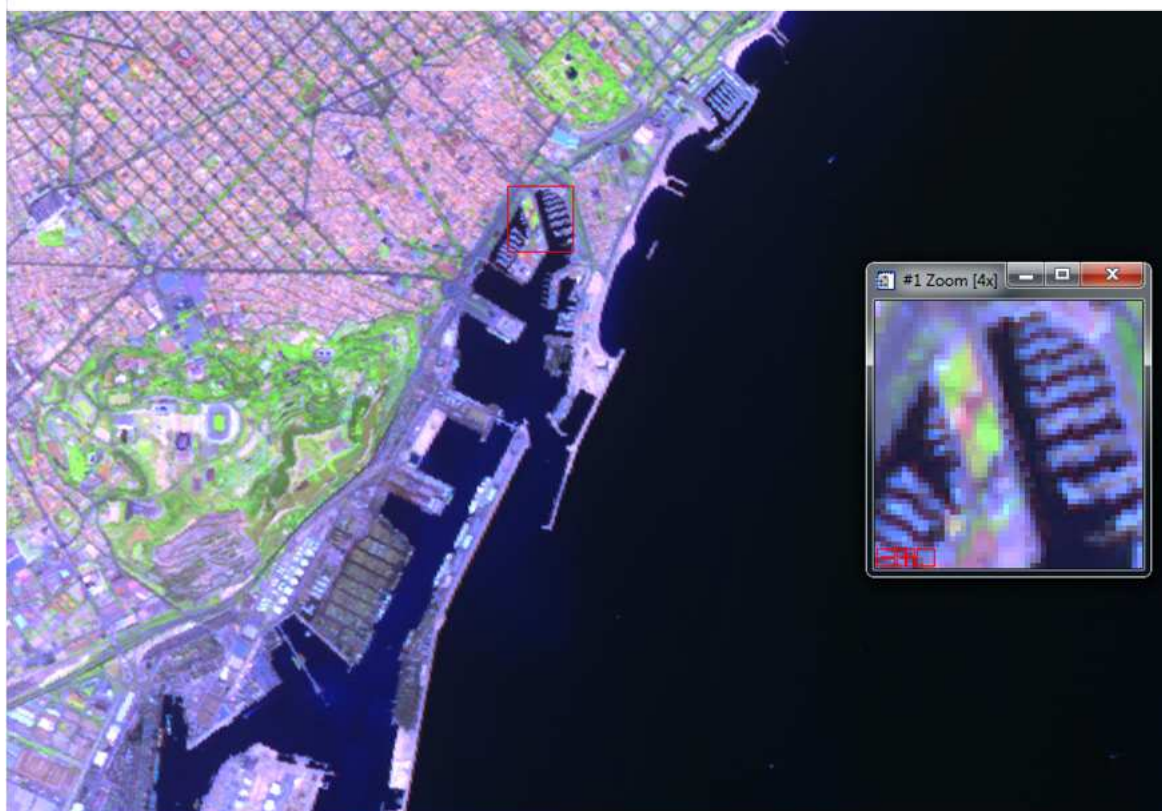


Figura 22. Combinació espectral 413(Infraroig mitjà, Infraroig proper, Verd) de la imatge de 2005

6.2. CARACTERÍSTIQUES DE LES IMATGES

IMATGES SPOT 5			
ANY	TIPUS	ESCENA	DATA I HORA D'ADQUISICIÓ
2005	PAN i XS	45-267	21-8-2005, 1h 30min
2006	PAN i XS	45-267	19-8-2006, 10h 48min
2007	PAN i XS	45-267	10-11-2007, 10h 28min
2008	PAN i XS	45-267	26-6-2008, 10h 22min
2009	PAN i XS	45-267	4-7-2009, 10h 51min
2010	PAN i XS	45-267	14-10-2010, 10h 24min

Taula 2 Taula que mostra la data i hora de les imatges multi temporals SPOT adquirides

CARACTERÍSTIQUES IMATGES MULTIESPECTRALS (XS)				
Resolució	10 m/píxel			
Dimensions	88710 x 73990 m			
Shift Along Track	0 8			
Nombre de bandes espectrals	4			
Indicació de banda espectral	HI1	HI2	HI3	HI4
Gain number	5	5	4	3
Absolute calibration gains	1,327033	1,597198	1,315116	6,355000
Angle d'Orientació	11,513718 degree			
Angle d'Incidència	R29,744277 degree			
Angle Solar	Azimut: 141,007668 Elevation: 55,863399			
Nombre de files	6000			
Nombre de píxels per fila	6000			
Situació del centre imatge	Lat:N41° 15' 5" Lon:E2° 6' 59"			

BANDES ESPECTRALS DE LES IMATGES MULTIESPECTRALS (XS)			
banda2	banda3	banda4	banda5
VERD	VERMELL	INFRAROIG PROPR	INFRAROIG MITJÀ
0.52-0.60 µm	0.63-0.69µm	0.76-0.90µm	1.55-1.75µm

CARACTERÍSTIQUES IMATGES PANCROMÀTIQUES (PAN)	
Resolució	2,5 m/píxel
Dimensions	88710 x 73990 m
Shift Along Track	0 0
Nombre de bandes espectrals	1 (0,255)
Indicació de banda espectral	PAN
Gain number	5
Absolute calibration gains	1,419412
Angle d'Orientació	10,965380 degree
Angle d'Incidència	R29,752006 degree
Angle Solar	Azimut: 140,996107 Elevation: 55,859599
Nombre de files	24000
Nombre de píxels per fila	24000
Situació del centre imatge	Lat:N41° 15' 6" Lon:E2° 7' 1"

Taula 3 Característiques de les imatges pancromàtiques i multiespectrals originals adquirides

6.3. FUSIÓ DE DADES

Resulta indispensable l'interès d'abordar estudis de teledetecció a diferents escales i amb diferents nivell de detall per entendre millor els processos que afecten al conjunt del planeta. Gràcies a la varietat de graus de resolució actualment disponibles podem abordar mitjançant imatges per satèl·lit un rang molt ampli d'escala: des de la local a la global. A vegades es fa necessari perdre resolució espectral per aconseguir una bona resolució espacial.

Com és lògic, no existeix cap sensor que pugui facilitar ambdós nivells de detall simultàniament. Aquest interès per abordar estudis a diferents nivells i unir informació de diferents imatges dona lloc a tota una nova línia de treball en teledetecció que rep el nom genèric **de fusió de dades**, que inclou la integració entre les imatges per satèl·lit i altres variables espacials.

L'objectiu final d'aquestes tècniques és aprofitar les avantatges particulars de les dades d'una imatge i fusionar-les amb una altre per acabar obtenint una imatge única final amb les característiques seleccionades de les dues.

En el nostre cas la fusió de dades serà realitzada per combinar la imatge pancromàtica, aprofitant la seva alta resolució espacial (2,5 metres) i descartant la seva monocromia, i la multiespectral, aprofitant la seva qualitat en el contrast cromàtic i descartant la seva grollera dimensió de píxel.

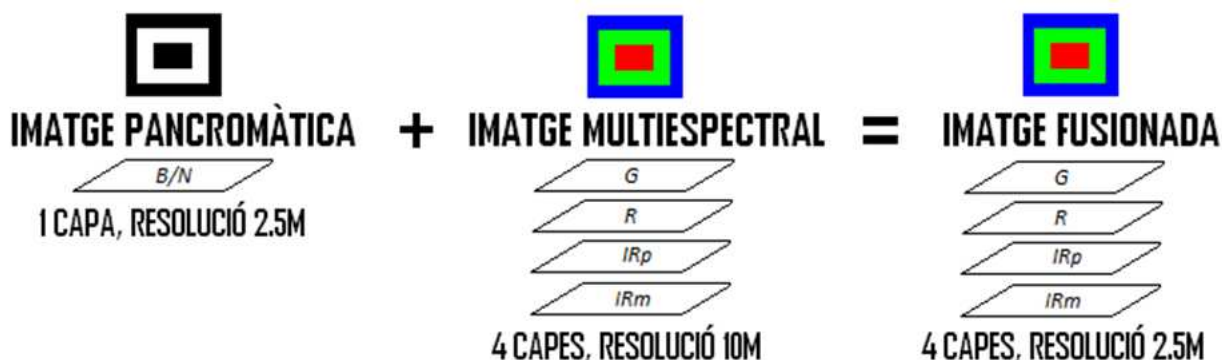


Figura 23. Esquema exclamatiu del concepte de fusió de dades

Existeixen diverses tècniques de fusió de dades, la més empleada i la que serà aplicada a les imatges d'aquest estudi s'anomena PC Spectral Image Sharpening Transform (Fusió de Components Principals) i consisteix en enfocar una imatge de baixa resolució espacial multibanda utilitzant una banda pancromàtica associada d'alta resolució. L'algoritme assumeix que les bandes espectrals de baixa resolució espacial corresponen a la banda pancromàtica d'alta resolució. Aquesta tècnica de fusió de dades serà executada amb ENVI, i serà indispensable que les dues imatges estiguin georeferenciades.

Serà necessari realitzar la fusió de dades per a cada imatge de cada any. Un cop realitzada la fusió obtindrem una imatge final, amb aquestes característiques realçades, i amb la que podrem començar a realitzar les diferents tècniques i processos de tractament d'imatges que seran explicats a continuació per realitzar l'estudi de detecció de canvis al llarg dels anys.

7. METODOLOGIA

7.1. GEOREFERENCIACIÓ DE LES IMATGES

Un cop aconseguit el format desitjat i abans de realitzar altres correccions, les imatges s'han de **dotar d'una mètrica universal** que possibiliti una bona **superposició** entre elles i els elements del terreny, i també per a una futura possible incorporació a un SIG.

Aquest procés d'adquisició mètrica, anomenat **georeferenciació**, permet assignar una **coordenada mapa a cada píxel** de la imatge, o dit d'una altra manera, introdueix un **sistema de referència** (UTM ETRS89) a la imatge perquè contingui **coordenades reals** i així poder realitzar una òptima superposició d'imatges per la seva comparació **píxel a píxel** i/o trobar qualsevol posició requerida. Per tal de minimitzar els errors d'aquest procés i, a la vegada, obtenir una superposició òptima de les imatges a les parts comunes, es fan servir programes de **triangulació espacial** simultània per a **orientar** aquestes imatges.

Aquets programes que realitzen automàticament la georeferenciació de les imatges necessiten un **número mínim de punts** a les imatges amb coordenades conegudes sobre el terreny. Per una òptima realització d'aquest procés i, perquè no dir-ho, per una pressa de contacte físic amb el terreny, personalment vaig optar per l'opció de **treball de camp**. Aquest treball de camp va consistir en un desplaçament l'àmbit d'estudi i la realització de la **presa de dades**, amb aparells geodèsics receptors GPS, d'aquets **punts de suport** necessaris per la georeferenciació. Un cop realitzada la georeferenciació de les imatges, s'ha obtingut un **error RMS de 1.5m** (el més elevat), totalment satisfactori ja que ha de ser inferior a la mesura d'un píxel (2.5m).

En aquesta imatge podem observar els 10 punts agafats amb GPS necessaris per realitzar la georeferenciació, situats geomètricament uniformes en la imatge (localitzacions públiques on s'ha tingut accés per a la presa de dades).



Figura 24. Imatge que mostra els punts mesurats amb GPS per a la georeferenciació (imatge SPOT del 2010 amb combinació de colors Vermell+ Infraroig mitjà + Verd)

7.1.1. PUNTS AGAFATS AL CAMP PER LA GEOREFERENCIACIÓ

Número del punt	1
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31N)	X 427743.515 m Y 4574877.749 m H 5.196 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre de la rotonda que connecta el carrer dels Ports d'Europa amb el carrer de la Lletra Z del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	2
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31N)	X 427394.815 m Y 4574934.095 m H 7.121m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre de la rotonda que connecta el carrer Número 6 amb el carrer de la Lletra A del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	3
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31N)	X 426723.092 m Y 4574094.508 m H 4.147 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre de la rotonda que connecta el carrer Número 100 amb el carrer Número 114 del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	4
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31N)	X 427163.894 m Y 4574504.395 m H 4.099 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament al centre de la intersecció del carrer de Mar Mediterrani y el carrer del Número 114 del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	5
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31 N)	X 426308.800 m Y 4575149.971m H 4.912 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre de la intersecció del carrer Número 6 amb el carrer de la Lletra F del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	6
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31 N)	X 425166.977 m Y 4575036.060 m Z 7.145 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en un dels vèrtex del parterre en forma de triangle al costat de la rotonda de la B-250 (costat oest) que connecta amb l'avinguda de l'Onze de Setembre del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	7
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31 N)	X 425261.249 m Y 4575108.097 m H 7.157 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre de la rotonda que connecta la ronda de Levante amb l'avinguda del Onze de Setembre del municipi El Prat de Llobregat

Número del punt	8
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31 N)	X 425386.629 m Y 4575200.630 m H 6.498 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en un dels vèrtex del parterre en forma de triangle al costat de la rotonda de la B-250 (costat est) que connecta amb l'avinguda de l'Onze de Setembre del municipi El Prat de Llobregat.

Número del punt	9
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31 N)	X 425665.607 m Y 4575403.920 m H 10.157 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre del pont que creua el riu Llobregat per la ronda de Llevant (vorera costat sud) del municipi El Prat de Llobregat.

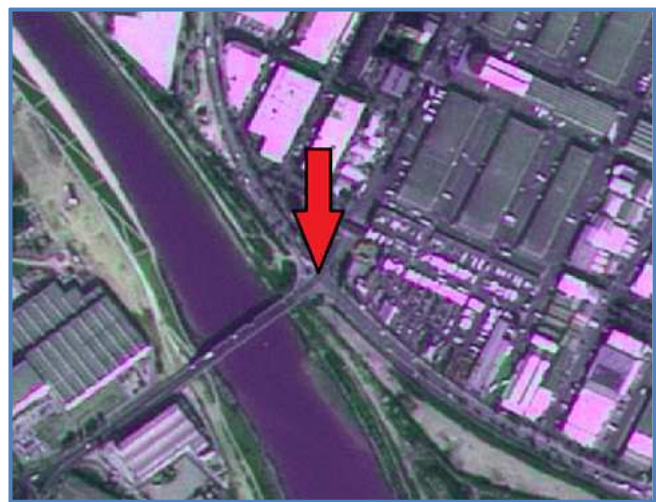
Número del punt	10
Sistema de coordenades	ETRS89 (elipsoide GRS80)
Coordenades UTM (F31 N)	X 425785.055 m Y 4575514.544 m H 6.822 m
Factor d'anamorfosis	0.9997



Situació geogràfica



Ubicació a la imatge



Fotografia



Descripció

El punt es troba aproximadament en el centre de la intersecció del carrer de la Lletra K amb la ronda de Llevant (B-250) del municipi El Prat de Llobregat

7.1.2. INSTRUMENTAL UTILITZAT

Taula 4. Característiques tècniques de la maquinaria topogràfica empleada per la pressa de dades GPS per a la georeferenciació de les imatges SPOT

7.2. RETALL DE LES IMATGES

Un cop tenim les imatges fusionades i georeferenciades, seleccionarem l'àrea d'interès de l'estudi i retallarem totes les imatges pel **mateix àmbit** a fi d'obtenir una correspondència espacial idèntica entre imatges. Concretament, ha estat seleccionada la zona de la desembocadura del riu Llobregat i les seves rodalies, així com l'ampliació del port, el polígon industrial Zal i els conreus de particulars dels voltants. En aquestes imatges podem veure les coordenades i paràmetres del retall de les imatges així com l'àrea d'interès de **2392 hectàrees**.



Figura 25 Imatge retallada sobre imatge original

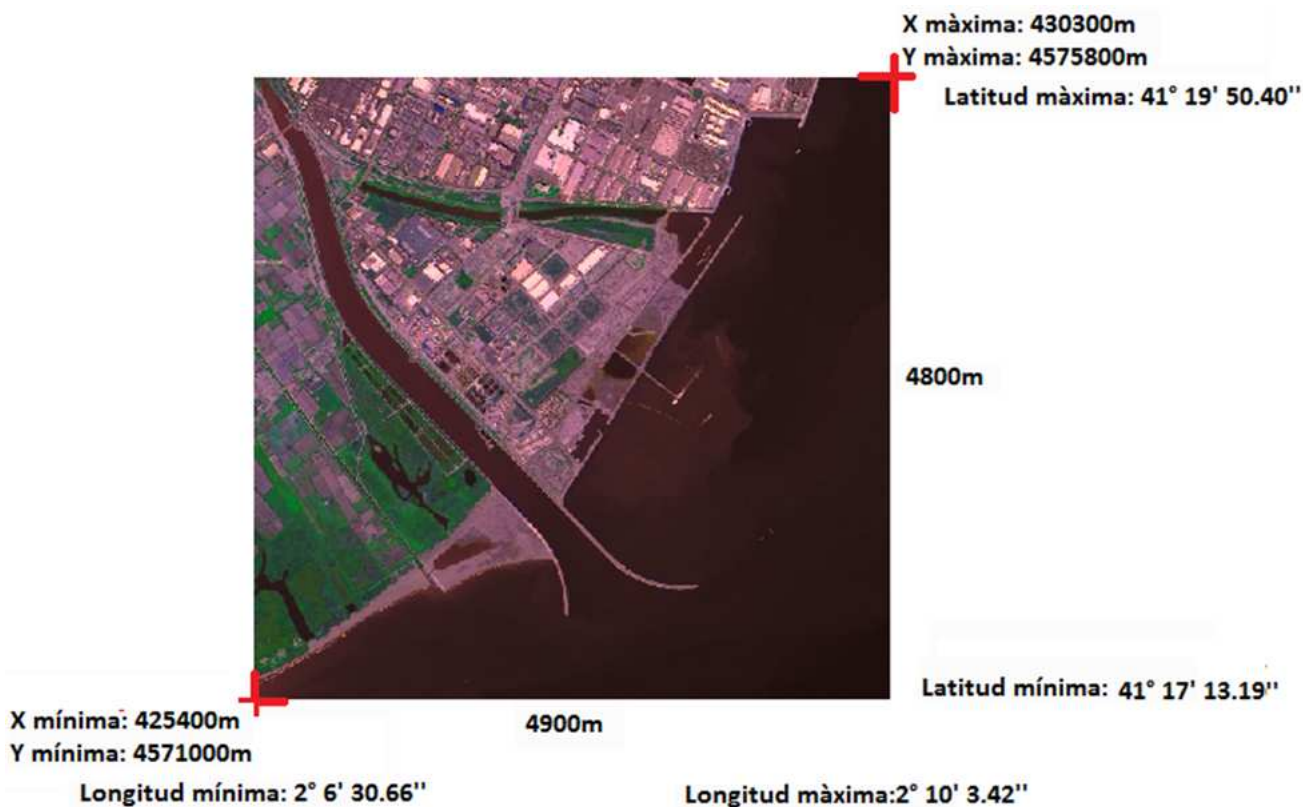


Figura 26. Paràmetres de tall

7.3 ANÀLISIS MULTITEMPORAL

El concepte d'**anàlisi multi temporal** és bastant senzill, concretament es defineix com l'estudi de **qualsevol canvi** en els valors digitals de les imatges realitzades en moments diferents en el temps però en les mateixes èpoques estacionals, és a dir, en **anys diferents** però en **mateixes dates** de calendari, ja que si no és així, les imatges serien diferents encara que no s'hagués produït cap canvi, degut a la **inclinació de l'angle d'il·luminació** i a la **distància Terra-Sol**. Aquets canvis entre imatges es deuen exclusivament a canvis de **reflectància de la superfície**, presumiblement deguts a l'acció d'alguna **alteració externa**, humana o natural.

Els estudis multi temporals a partir d'imatges per satèl·lit tenen un gran número d'aplicacions, sobretot en l'àmbit mediambiental. Les quatre principals **aplicacions** són:

- Monitorització del creixement de les urbanitzacions** (industrials o residencials) que voltegen les grans ciutats que fan desaparèixer una gran part de territori verd. L'aplicació d'aquestes tècniques poden identificar la quantificació i la direcció d'aquest creixement.

- L'actualització de la cartografia i usos del sòl**. Els usos del sòl de diferents parcel·les d'un territori poden variar, modificant el tipus de cultiu existent així com el tampany i l'estructura de les edificacions.

- Seguiment de la desforestació dels boscos tropicals**. És possible quantificar la desforestació i la velocitat amb la que s'estén. Això permet realitzar previsions de futures desforestacions i prendre mesures adequades per evitar-les.

- Estudi del "possible" escalfament global**, concepte mediambiental de plena actualitat. La teledetecció permet captar els canvis en les temperatures de la superfície terrestre i analitzar el estat dels pols i dels glacials.

Per a realitzar l'anàlisi multi temporal amb imatges SPOT obtingudes, **prèviament tractades i preparades** (canvi en les metadades, canvi de formats, fusionades, georeferenciades, retallades...), utilitzarem **cinc tècniques d'anàlisi multi temporal** que seran descrites a continuació: **l'anàlisi visual, els índex d'aigua i vegetació, la classificació de les imatges (no supervisada i supervisada), i la subtracció d'imatges**. En la tècnica de classificació supervisada d'imatges, serà necessari un estudi posterior per a mesurar el possible error comés amb la tècnica de la **matriu de confusió**.

7.3.1. ANÀLISI VISUAL

Aquesta tècnica de detecció d'àrees de canvi entre imatges de diferents dates de forma visual, consisteix en realitzar una composició de color en la que s'utilitzen les dues imatges.

Per a fer palesos les àrees de canvi, es combinen les imatges a analitzar generant **una imatge en fals color**. Si cal estudiar la imatge A i la B, es genera la imatge en l'espai de color RGB, on la imatge A es fa correspondre al canal vermell (red) i al blau (blue); i la imatge B es fa correspondre al canal verd (green). Amb aquesta combinació de canals els augments dels valors numèrics radiomètrics prenen tonalitats verdes, i les disminucions, tonalitats rosades.

Aquest mètode és únicament de **caràcter visual** i ha sigut utilitzat a l'hora de dirigit la **fotointerpretació** i en identificar les possibles àrees de canvi, decidir si realment es tracta d'una transformació del territori o no. A continuació podem veure alguns exemples de combinacions de bandes multi temporals

G 2010 + Rp 2010 + G 2005



Rp 2010 + R 2010 + R 2005



G 2005 + Rp 2005 + R 2010



Rm 2010 + Rp 2010 + R 2005



Rm 2005 + Rm 2010 + Rp 2010



G 2010+ G 2005 + R 2005



Figura 27. Diferents exemples de combinacions espectrals multi temporals per anàlisi visual

7.3.2. ÍNDEX D'AIGUA

L'índex d'aigua, o també anomenat NDWI (Índex d'Aigua de Diferència Normalitzada), és l'eina que s'utilitza per extraure la **quantitat d'aigua** que existeix en una imatge multibanda i multiespectral. També es pot utilitzar per saber la quantitat d'aigua que posseeix la vegetació o el nivell de saturació d'humitat que hi ha en el sòl.

El càlcul de l'índex d'aigua, es realitza operant matemàticament els valors de reflectància de les bandes electromagnètiques de la imatge corresponents a la del verd i a la de l'infraroig proper amb la següent fórmula:

$$NDWI = \frac{((Verd) - (Infraroig Proper))}{((Verd) + (Infraroig Proper))}$$

Equació 1. Fórmula de l'índex d'aigua per imatges multiespectrals

Una vegada disposem de totes les imatges retallades, començarem a realitzar els índexs d'aigua a totes les imatges dels diferents anys, donants com a resultat noves imatges ràsters on queda ressaltada l'aigua gràcies a la seva resposta espectral. Els valors que agafaran els píxels d'aigua seran valor positius, i els valors que no ho són agafaran valor negatius.

A continuació s'exposen les imatges un cop aplicat l'índex d'aigua a tots els anys de l'estudi de detecció de canvis, podem observar com queda ressaltada l'aigua (color blau) en tota la imatge, gràcies a l'índex i a la resposta espectral de l'aigua:

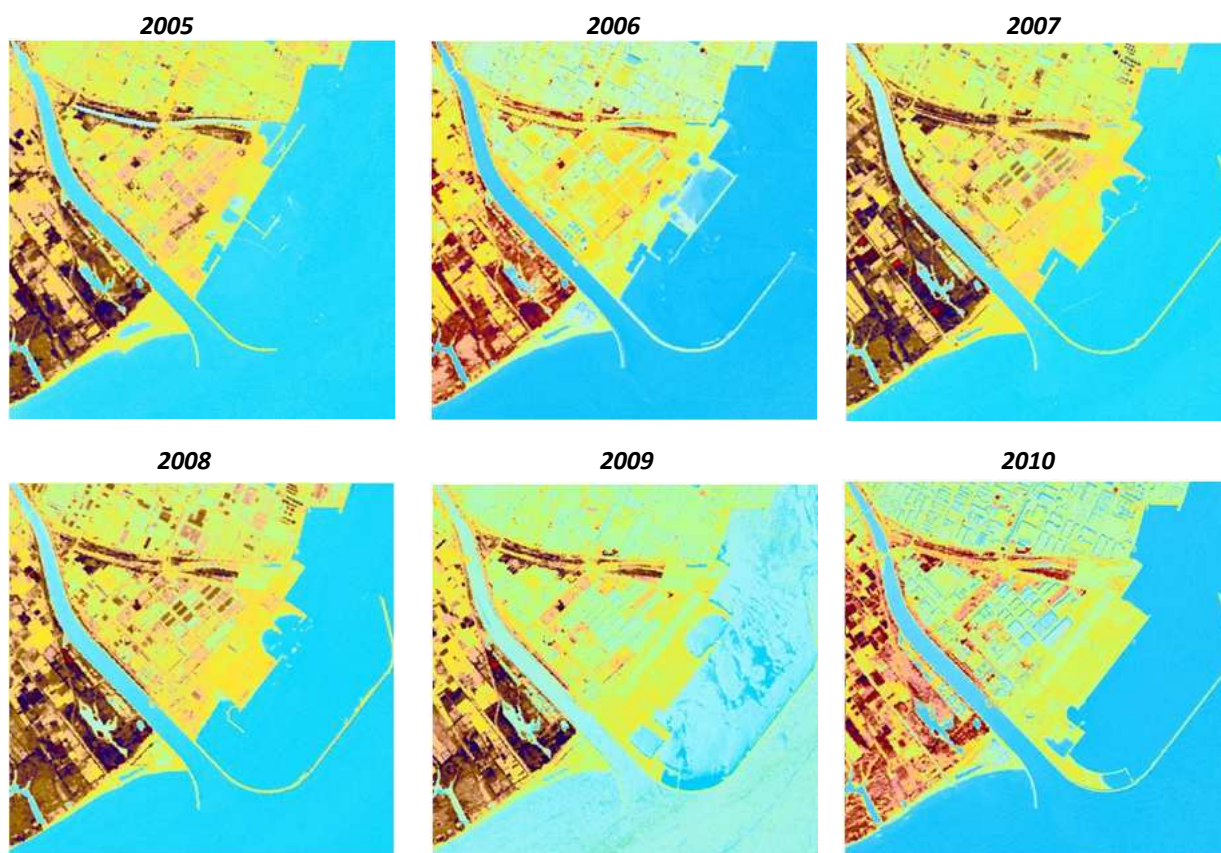


Figura 28. Aplicació de l'índex d'aigua a les imatges

7.3.3. ÍNDEX DE VEGETACIÓ

L'índex de vegetació o també conegut com **NDVI** (Índex de Vegetació de Diferència Normalitzada), és una eina utilitzada per estimar la **quantitat, qualitat i creixement** de la **vegetació**, gràcies a la mesura de la **intensitat de radiació** de certes bandes del espectre electromagnètic que la vegetació emet o reflexa, mitjançant **sensors remots** instal·lats en plataformes espacials, normalment satèl·lits d'observació terrestre.

Les plantes absorbeixen la radiació solar en la regió espectral de radiació fotosintètica activa, la qual es utilitzada com a font d'energia en el procés de la fotosíntesi. Per tant, la vegetació apareix relativament obscura en la regió de radiació fotosintètica activa i relativament brillant en el infraroig proper. L'índex de vegetació (NDVI) es calcula a partir de les mesures individuals de les bandes del espectre de l'infraroig proper i del vermell, utilitzant la següent fórmula:

$$NDVI = \frac{((\text{Infraroig Proper}) - (\text{Vermell}))}{((\text{Infraroig Proper}) + (\text{Vermell}))}$$

Equació 2. Fórmula de l'índex de vegetació per imatges multiespectrals

Aplicant aquesta fórmula per l'índex de vegetació a les imatges SPOT fusionades, retallades i preparades per ser analitzades, obtenim unes noves imatges amb valors entre -1,0 i +1,0, on agafant els valors més grans que obtenim el número de cel·les amb vegetació sana, i multiplicant aquestes cel·les per els metres quadrats que fa un píxel a la imatge ($2.5 \times 2.5 = 6.25\text{m}^2$) obtenim el total de vegetació que hi ha a la imatge. A continuació s'exposen les imatges un cop aplicat l'índex de vegetació a tots els anys de l'estudi de detecció de canvis:

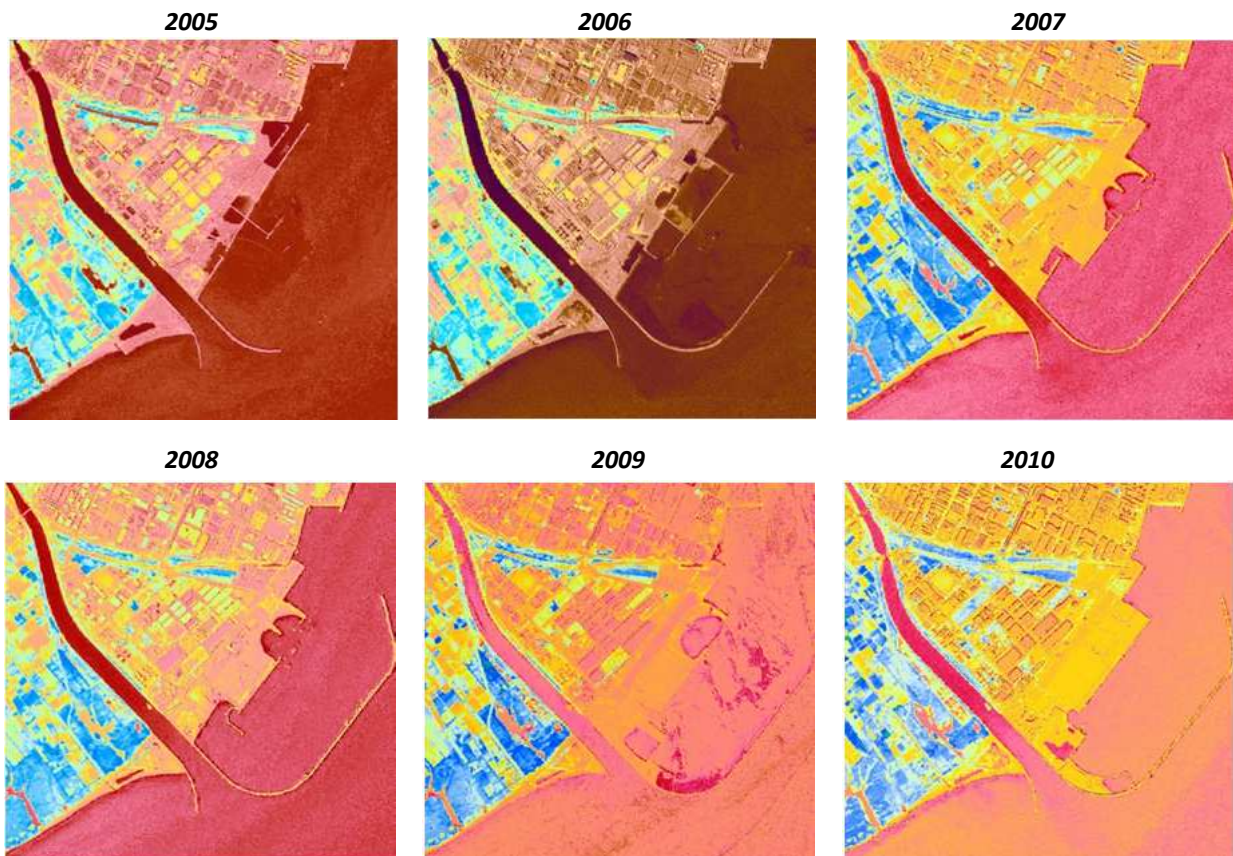


Figura 29 Aplicació de l'índex de vegetació a les imatges

7.3.3.1. COMBINACIÓ ANALÍTICA DE CAPES NDVI

Un cop realitzats els índexs de vegetació, agafant les imatges de 2005 i 2010, es realitzaran màsques de vegetació, és a dir, d'extrauran els valor amb vegetació d'aquestes dues imatges i s'exportaran a una nova, quedant així una imatge binària amb només dos valors (0 i 1), valors amb vegetació i sense vegetació. A continuació podem observar aquestes dues imatges resultants:

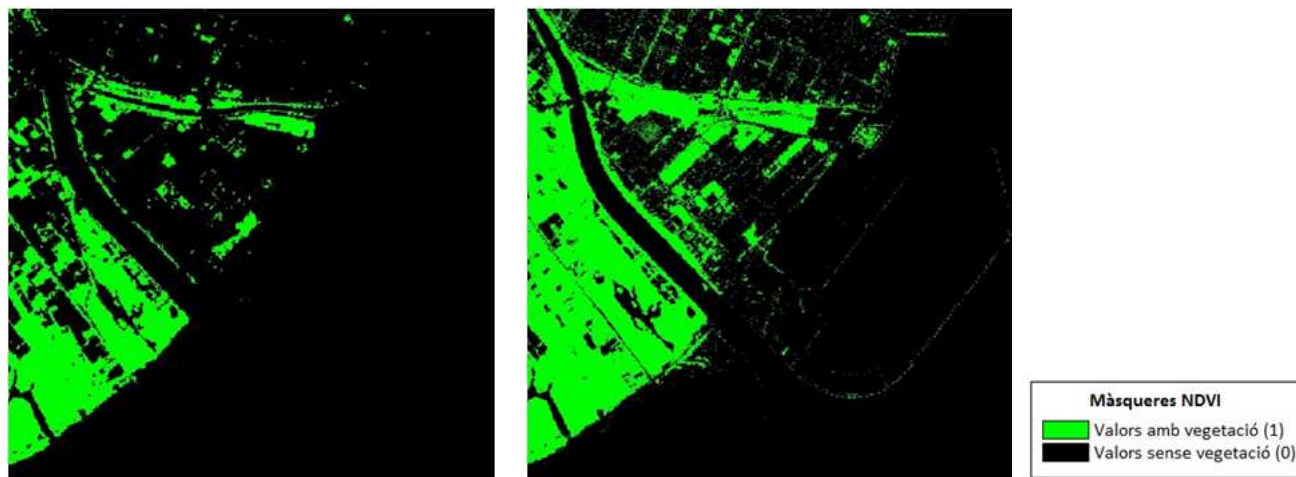


Figura 30. Imatges Binàries 2005 i 2010 d'NDVI.

Realitzant una combinació analítica d'aquestes dues imatges (o capes) binàries, obtenim una nova imatge resultant on es poden veure els canvis i moviments en la vegetació que hi ha hagut en aquets cinc anys. Apareixeran 4 valors, 2 per canvis apareguts en la vegetació (guanyada o perduda) i 2 per als canvis no apareguts (invariables).

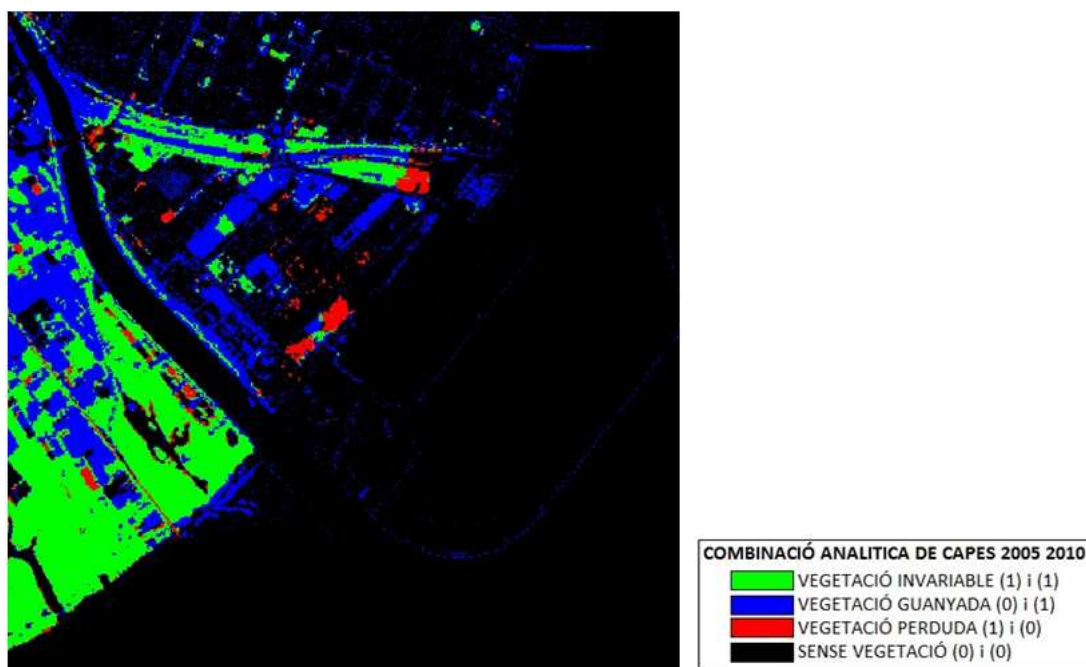


Figura 31. Combinació analítica de NDVI 2005-2010

7.3.4. CLASSIFICACIÓ DE LES IMATGES

La classificació digital d'imatges multispectrals ens permet obtenir cartografia temàtica i també un inventari estadístic del nombre de píxel assignats a cada categoria.

Per realitzar una classificació digital d'una imatge multispectral hem de fer una correcció radiomètrica prèvia. Una vegada realitzada hem de tenir en compte les següents premisses per realitzar el mètode de classificació:

- Ha de ser exacte.
- Han de tenir les mateixes àrees d'entrenament.
- Ha de ser robust.
- Ha de ser exhaustiu (classificar tota la imatge).
- I ha de ser objectiu (que la persona conegui tota la zona).

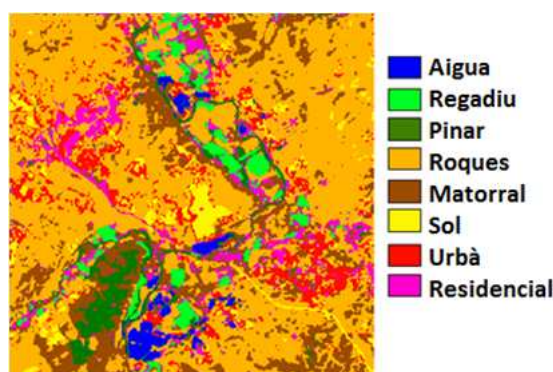


Figura 32. Exemple d'imatge classificada:

Existeixen dos tipus de classificacions, la **supervisada** i la **no supervisada**.

En la classificació **no supervisada** es fa una separació de classes sense tenir cap informació a priori del terreny. Utilitzant diferents mètodes, es classifiquen les classes per separació de cúmuls de punts en l'espai. En una classificació no supervisada, no hi ha regions d'interès, el procés es automàtic, per tant no és necessari conèixer la zona.

En una **classificació supervisada** s'utilitza la informació a priori recollida al camp. El supervisor ha de triar certes zones característiques de la imatge de les quals es sap ha quina característica es correspon en el camp. Són les regions d'interès.

A partir d'aquestes regions d'interès, el programa de classificació, caracteritzarà cada una de les classes. Posteriorment assignarà cada un dels píxels a una categoria en funció de la similitud dels píxel de les regions d'interès. Les regions d'interès han de ser:

- Regions homogènies i s'han d'eliminar els valors atípics si cal.
- A ser possible repartides uniformement per la imatge.
- Estadísticament representatives.

7.3.4.1. CLASSIFICACIÓ NO SUPERVISADA

El procés de la classificació no supervisada s'ha generat a partir del software Erdas Imagine 9.1, amb un número de classes de 20, 6 iteracions, 0.95 de convergència i sense classificar els valors nuls. A continuació es mostren els resultats, les imatges i la llegenda de les classes:

1	Aigua	11	Conreus
2		12	
3		13	Asfalt
4		14	
5		15	Conreus 2
6		16	
7		17	Vials
8	Vegetació Densa	18	Sorres
9	Vegetació No Densa	19	Edificacions
10		20	

Taula 5. Classes de la classificació No Supervisada

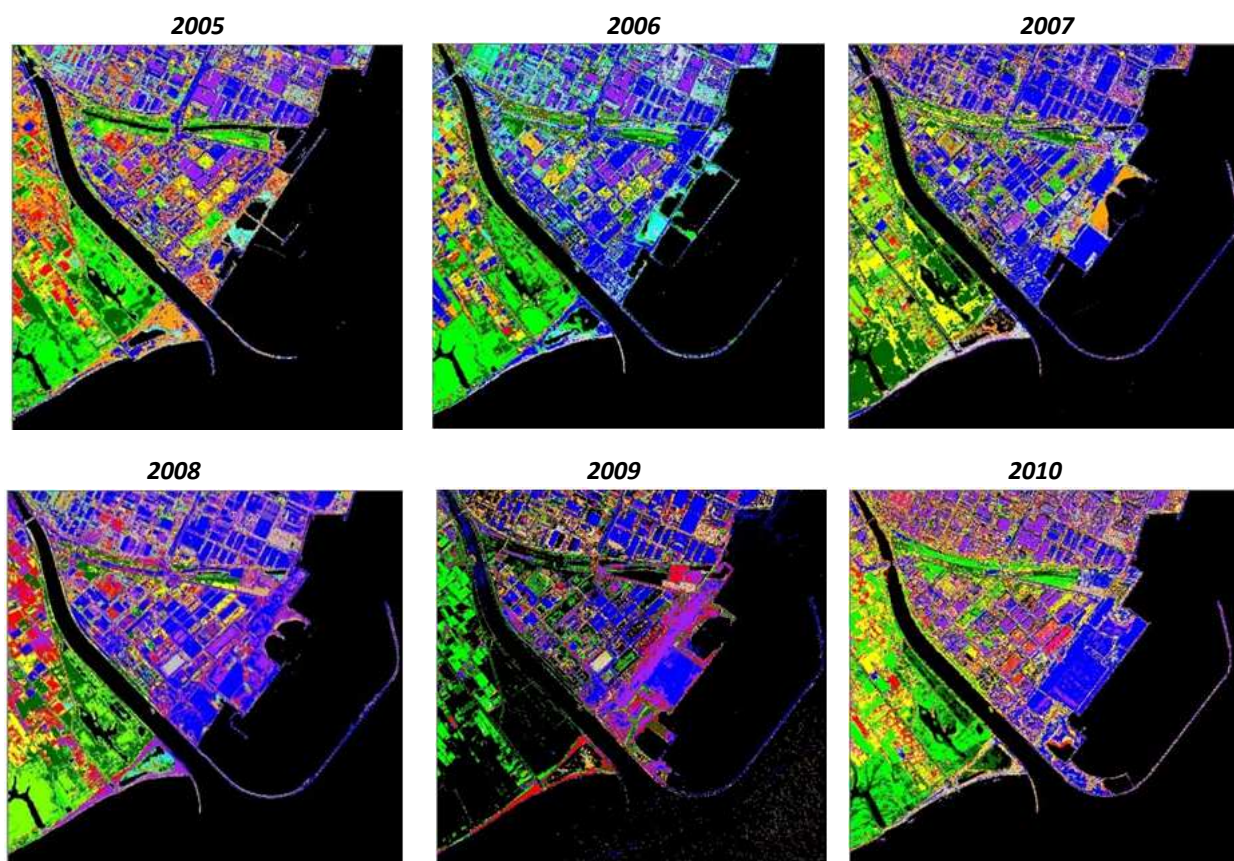


Figura 33 Imatges Classificades No Supervisades

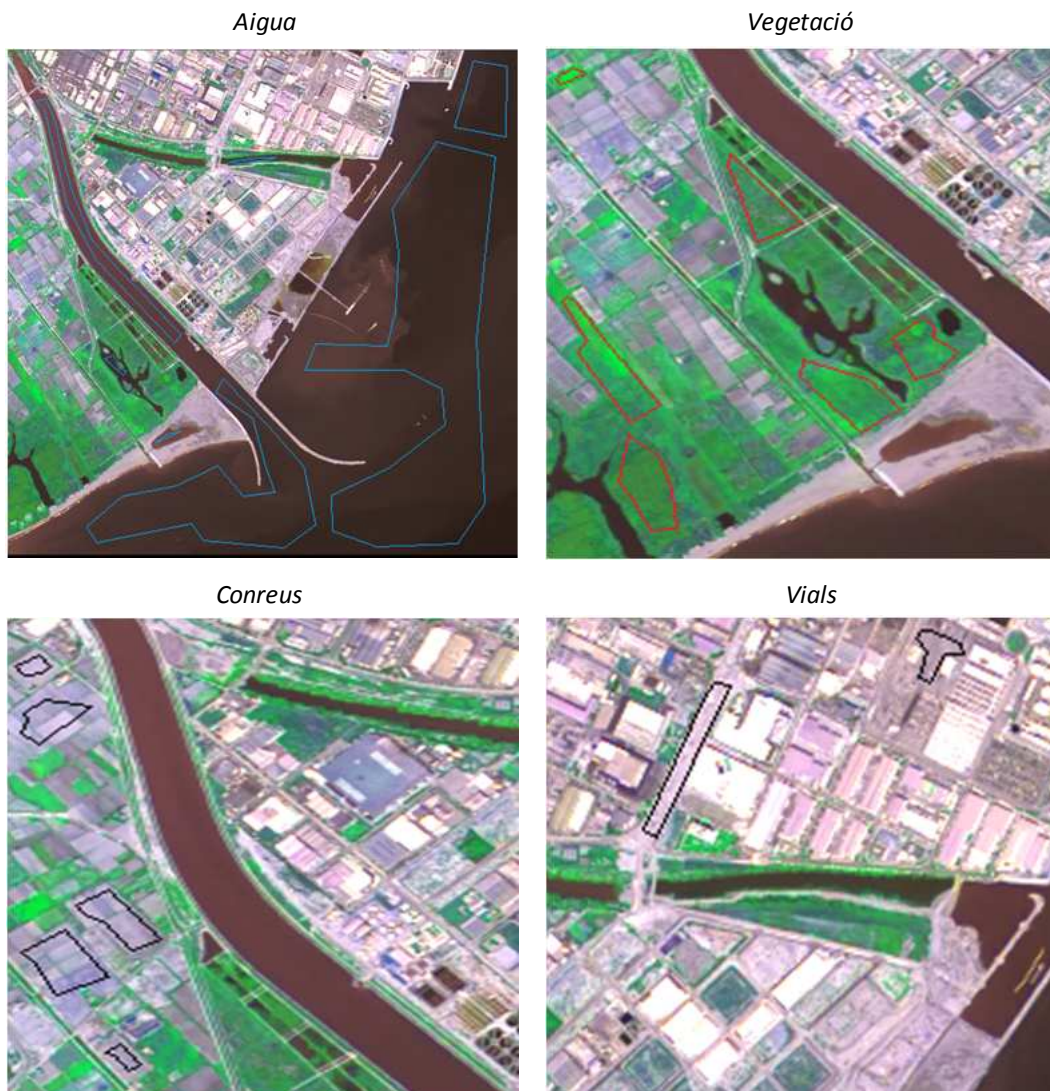
Podem observar que els resultat no són satisfactoris, ja que la classificació no supervisada agafa els valors a classificar aleatòriament per a cada imatge, per tant, es fa impossible comparar les imatges per trobar canvis reals i significatius.

7.3.4.2. CLASSIFICACIÓ SUPERVISADA

Passos seguits per realitzar la classificació supervisada:

- Primerament, realitzar una classificació **no supervisada**.
- Realització de **les àrees d'entrenament** en funció de la classificació (no supervisada)
- Classificació **Supervisada amb "Maximum-Likelihood"**, utilitzant el programa ERDAS, el processador més potent d'imatges i l'eina més utilitzada en el camp de la fotogrametria.
- Realització d'àrees d'entrenament diferents per fer la matriu de confusió

Una vegada seguits els passos del mètode de classificació, obtenim les imatges classificades segons les classes més importants, a continuació es mostren les àrees d'entrenament o **regions d'interès** escollides per cada classe, **les classes finals** després d'haver realitzat una **reclassificació** i les **imatges classificades** de cada data, manca la imatge de 2009 ja que es incompatible amb aquesta classificació:



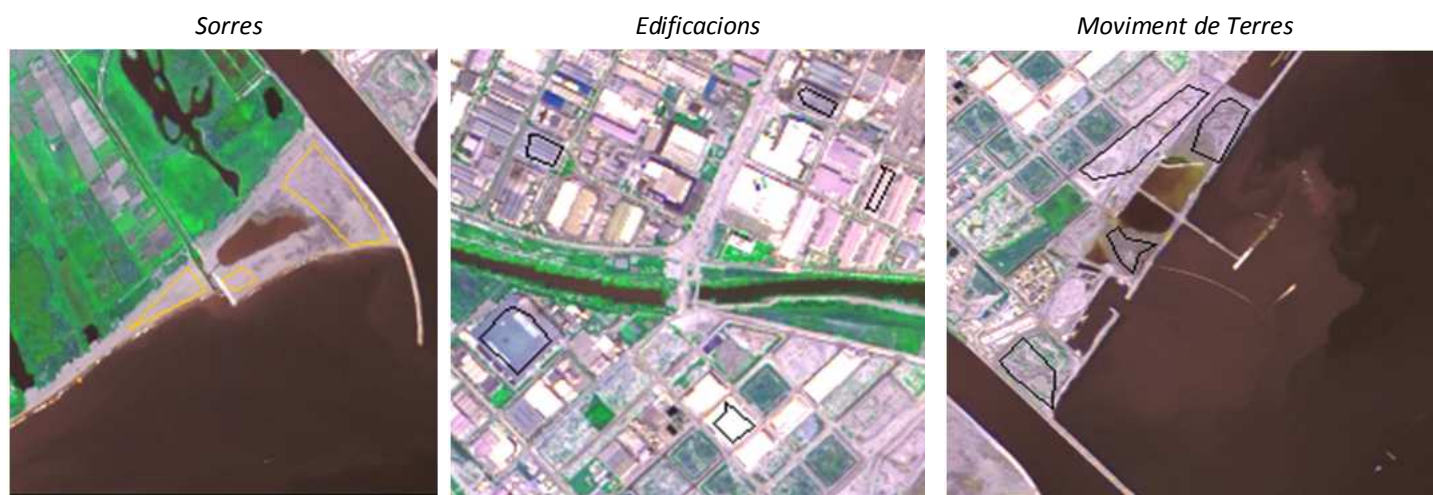


Figura 34. Àrees d'interès utilitzades en la classificació

	Aigua
	Vegetació
	Conreus
	Vials
	Sorres
	Edificacions
	Moviment de Terres

Taula 6. Classes de la Classificació Supervisada

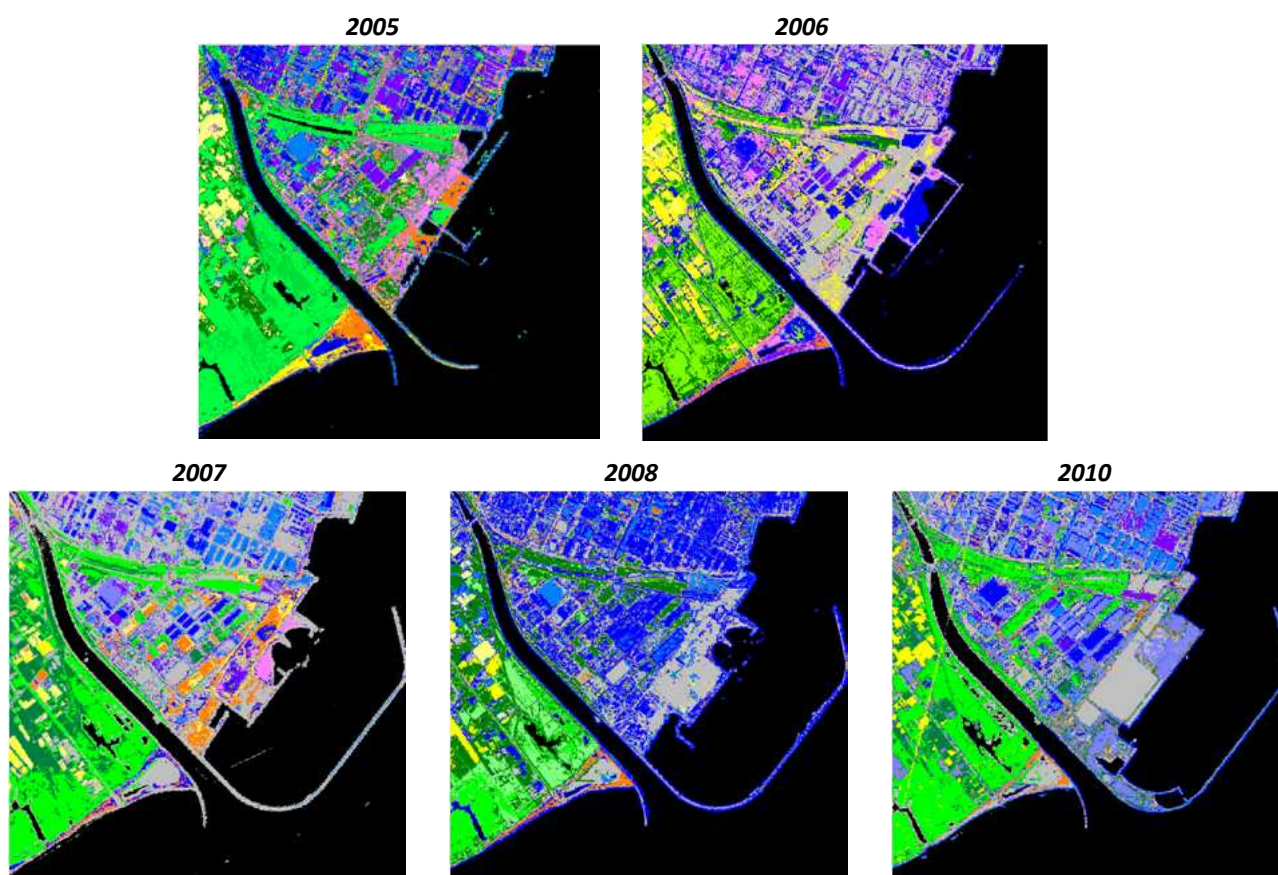


Figura 35. Imatges Classificades Supervisades

7.3.4.3. MESURES D'ERROR PER IMATGES CLASSIFICADES: La matriu de Confusió

Per verificar una imatge classificada, la recollida de les classes de referència i l'extracció del valor de la imatge permetrà obtenir un llistat de punts de verificació dels que coneixem tant la seva cobertura real com la deduïda per la classificació. Amb aquest llistat podem generar una taula, denominada "**matriu de confusió**", ja que recull els conflictes que es presenten entre categories.

En aquesta matriu les columnes representen les classes de referència, i les files les categories deduïdes de la classificació. Lògicament, les dos tindran el mateix número i significat, per tant es tracta d'una matriu quadrada $n \times n$. La diagonal d'aquesta matriu expressa el número de punts de verificació on es produeix acord entre dos fonts (mapa i realitat), mentre que les dades marginals suposen errors d'assignació. La relació entre el número de punts correctament assignat y el total expressa la fiabilitat global del mapa.

Clasificación	Referencia							
		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase n	Total	Exactitud Usuario	Error Comisión
	Clase 1	X_{11}				X_{1+}	X_{11}/X_{1+}	$1-X_{11}/X_{1+}$
	Clase 2		X_{22}			X_{2+}	X_{22}/X_{2+}	$1-X_{22}/X_{2+}$
	Clase 3			X_{33}		X_{3+}	X_{33}/X_{3+}	$1-X_{33}/X_{3+}$
	Clase n				X_{nn}	X_{n+}	X_{nn}/X_{n+}	$1-X_{nn}/X_{n+}$
	Total	X_{+1}	X_{+2}	X_{+3}	X_{+n}	$\sum X_{ij}$		
	Exactitud Productor	X_{11}/X_{+1}	X_{22}/X_{+2}	X_{33}/X_{+3}	X_{nn}/X_{+n}			
	Error Omisión	$1-X_{11}/X_{+1}$	$1-X_{22}/X_{+2}$	$1-X_{33}/X_{+3}$	$1-X_{nn}/X_{+n}$			

	Errors d'omissió
	Errors de comisió
	Classificats òptimament

Taula 7. Exemple de Matriu de Confusió

Test de la capa a avaluar "C:\PFC\SPOT\2005\2005classerdas_reclass.IMG" (files)											
amb la capa de veritat terreny: "C:\PFC\SPOT\2005\2005test.IMG" (columnes)											
Taula de freqüència d'ocurrències (cel·les)											
	1	2	3	4	5	6	7	Total	Error comiss	Exactitud usuari	
1	114515	0	0	0	0	0	0	114515	50.0	50.0	
2	179	6557	0	0	0	0	0	6557	21.0	52.0	
3	12	253	2827	0	0	24	482	3333	15.2	84.8	
4	212	125	21	11667	0	0	18	11685	32.2	69.8	
5	0	0	96	753	7255	0	0	8008	9.4	90.6	
6	0	0	0	161	223	1926	3321	5410	64.4	35.6	
7	0	0	6	186	0	179	2741	3112	11.9	38.1	
Total	114515	6557	2833	12767	7257	2129	6562	152620			
Omissió	0.0	0.0	0.2	8.6	0.0	9.5	58.2				
Exactitud	78,2	52,5	79,8	91,4	54,1	53,1	41.8				
Nombre total de píxels avaluats										3763200	
Nombre píxels avaluats amb dades										3763200	
Nombre total de píxels de la capa veritat terreny que podrien ser usats per a l'avaluació (A)										152620	
Nombre de píxels de la imatge veritat terreny realment usats per a l'avaluació (no sobre NODATA) (B)										152620	
Nombre d'encerts (C)										73744	
Encert global (C/A)										46.6%	
Encert global (només els classificats) (C/B)										46.6%	
Encert global ponderat a partir de la superfície de la capa a avaluar										49.5%	
Encert global ponderat a partir de la superfície de la capa a avaluar (només els classificats)										49.5%	
Encert global ponderat a partir de la superfície de les àrees de veritat terreny										49.8%	
Encert global ponderat a partir de la superfície de les àrees de veritat terreny (només els classificats)										9.8%	
Kappa										0.5	
Variància Kappa:										2,05E-01	

Taula 8. Informe de la matriu de confusió de la imatge de l'any 2005:

7.3.5. SUBTRACCIÓ D'IMATGES

Dos simples procediments aritmètics, suma i resta, són els que s'utilitzen per realitzar la detecció de canvis bàsica amb la tècnica de subtracció d'imatges.

Un cop tenim les dues imatges de diferents èpoques corregistrades de la manera més precisa possible (d'error com a mínim menor que un píxel), realitzem **una diferència entre elles**, les restarem píxel a píxel. Perquè existeixi cap valor de píxel negatiu, sumarem un valor constant (127, si es treballa amb imatges de bytes, valors compresos entre -255 i 255) per obtenir un rang positiu en els valors digitals de la imatge diferència.

La imatge diferència resultant de la resta entre les dues imatges representa les zones que **han guanyat o perdut canvis**, de la mateixa manera que queden anul·lat els píxels o zones que no han variat en el temps.

Per la bona realització d'aquest mètode d'anàlisi multi temporal amb imatges SPOT, s'han restat banda amb banda de les dues imatges extremes (bandes de la imatge 2010 menys bandes de la imatge 2005). Posteriorment, s'han extret els valors de píxel mes alts de les imatges resultants de la resta de bandes, i s'ha realitzat un promig per determinar el valor en cel·les i en hectàrees del canvi produït en el temps.



Figura 36. Imatge resultant de la resta de bandes del Vermell, Red2010-Red2005 (esquerra), Valors de canvis (dreta)

S'ha realitzat la mateixa operació de resta d'imatges pels **índex de vegetació** (2010NDVI-2005NDVI), els resultats numèrics es troben en l'apartat de resultats, al final del projecte.

7.4. RESTITUCIÓ

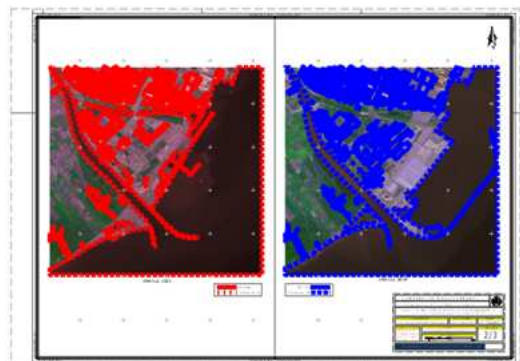
La fotogrametria és la tècnica d'obtenció d'informació quantitativa i qualitativa a partir de fotografies aèries. La fotogrametria es pot dividir en fotogrametria mètrica i fotointerpretació. La fotointerpretació té com a objectiu el reconeixement i anàlisi d'objectes a partir d'imatges fotogràfiques. La restitució fotogramètrica és una de les principals tècniques de la fotointerpretació, ja que es basa en la digitalització (automàtica o manual) de les imatges, per arribar a obtenir un producte final mètric escalat (format dibuix, per realitzar consultes dimensionals).

Sense l'ajuda de cap restituïdor analític o digital amb visió estereoscòpica, però utilitzant de suport cartografia actual, sobre les imatges del 2005 i 2010 (les més extremes), s'ha pogut restituir la zona delimitant edificis, límits de costa (delimitant la làmina d'aigua) i sòl urbà. Gràcies a aquest procés hem pogut extreure la informació numèrica (apartat resultats) necessària per realitzar l'estudi de detecció de canvis en dimensions espacials. A continuació podem veure les **minuts dels plànols** i seguidament els plànols dissenyats per la realització del **mapa de canvis**.

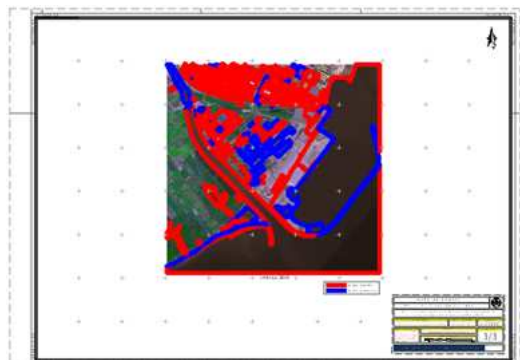
PLÀNOL 1/3: "CARTOGRAFIA SUPORT": En aquest plànol podem veure la cartografia utilitzada de suport del ICC "actual" (la que es troba publicada actualment a la web), a escala 1:2000 i l'àrea d'estudi del projecte: (Paral·lelament s'ha consultat l'ortoimatge de Catalunya 1:5 000 i el vol fotogramètric 25 cm, ambdós productes de l'ICC)



PLÀNOL 2/3: "COMPARACIÓ MULTITEMPORAL". En aquest plànol es mostren les dues imatges restituïdes digitalment (i també manualment) dels anys 2005 i 2010, delimitant edificacions, sòl urbà i aigua.



PLÀNOL 3/3: "MAPA DE CANVIS". En aquest últim plànol podem veure solapades les dues restitucions sobre la imatge de 2010 i observar les variables i invariables, és a dir, observar els canvis produïts en el temps, tant en edificacions com en línies de costa.



8. RESULTATS

Seguidament s'exposen els resultats numèrics obtinguts en la realització de l'índex d'aigua o NDWI, també podem observar el número de cel·les a la imatge i el número d'hectàrees d'aigua, cal especificar que aquestes dimensions corresponen a la capa superficial d'aigua o làmina d'aigua i no a unitats cúbiques ja que no podem saber la profunditat en cada tram del riu:

	NDWI ÍNDEX D'AIGUA					
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
cel·les	1982509	2006946	1912994	1957728	1819370	1809733
hectàrees	1239,07	1254,34	1195,62	1223,58	1137,11	1131,08

Taula 9. Resultats NDWI (ha)

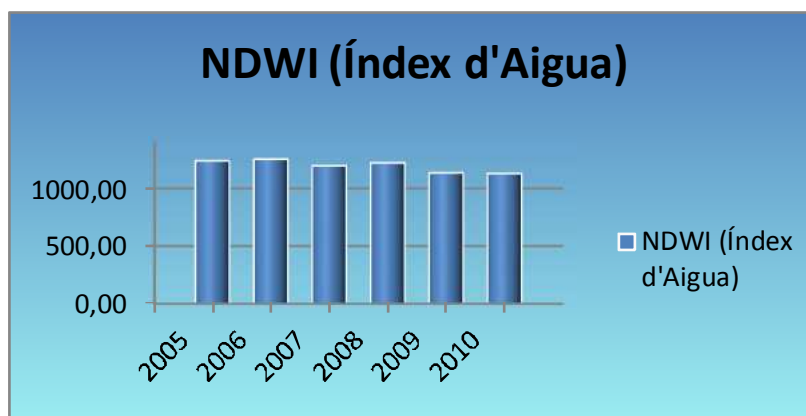


Figura 37. Gràfica dels valor d'aigua de les imatges.

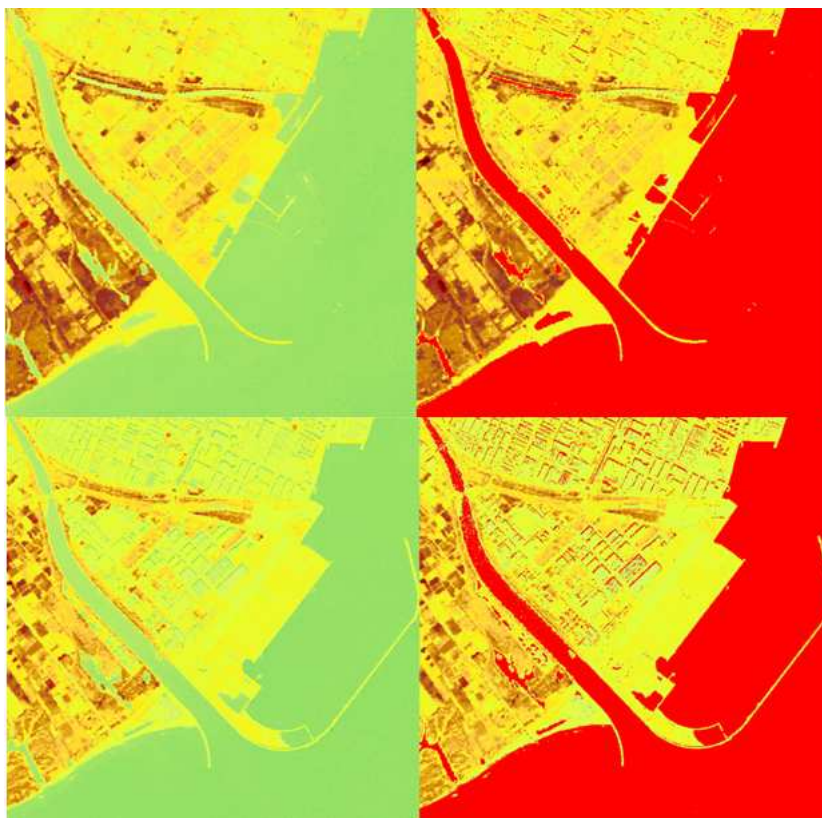


Figura 38. Valors d'aigua marcats en les imatges de 2005 i 2010

A continuació es mostren els resultats numèrics obtinguts en realitzar l'índex de vegetació o NDVI, podem veure el número de píxels a la imatge i el nombre d'hectàrees de vegetació al terreny:

NDVI ÍNDEX DE VEGETACIÓ						
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
cel·les	458446	407202	420371	491965	612306	826063
hectàrees	286,53	254,50	262,73	307,48	382,69	516,29

Taula 10. Resultats NDVI (ha)

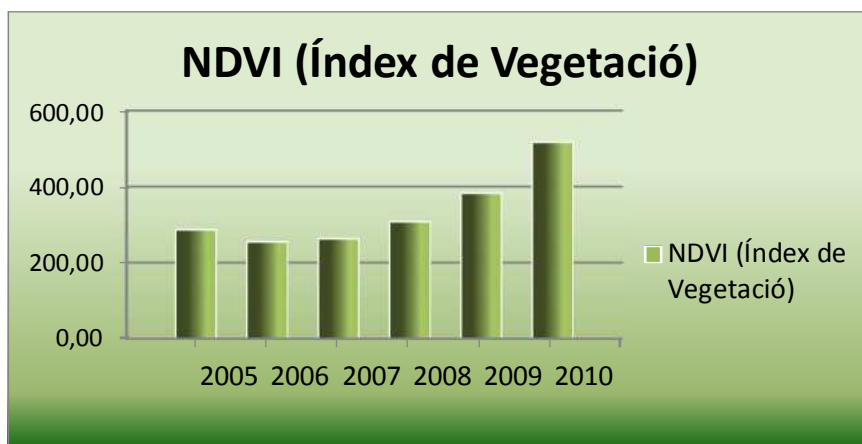


Figura 39. Gràfica dels valors de vegetació de les imatges



Figura 10. Valors de vegetació marcats en les imatges de 2005 i 2010

Un cop realitzada la **combinació analítica de capes** dels índex de vegetació de les imatges de l'any 2005 i 2010 obtenim els següents resultats

		imatge 2005				
		0	1	Total	(0,0)	Sense Vegetació
imatge 2010	0	1806,66	31,48	1838,14	(1,0)	Vegetació Perduda
	1	261,24	255,05	516,29	(0,1)	Vegetació guanyada
	Total	2067,9	286,53	2354,43	(1,1)	Vegetació Invariable

Taula 11. Taula d'àrea d'ocurrències (ha)

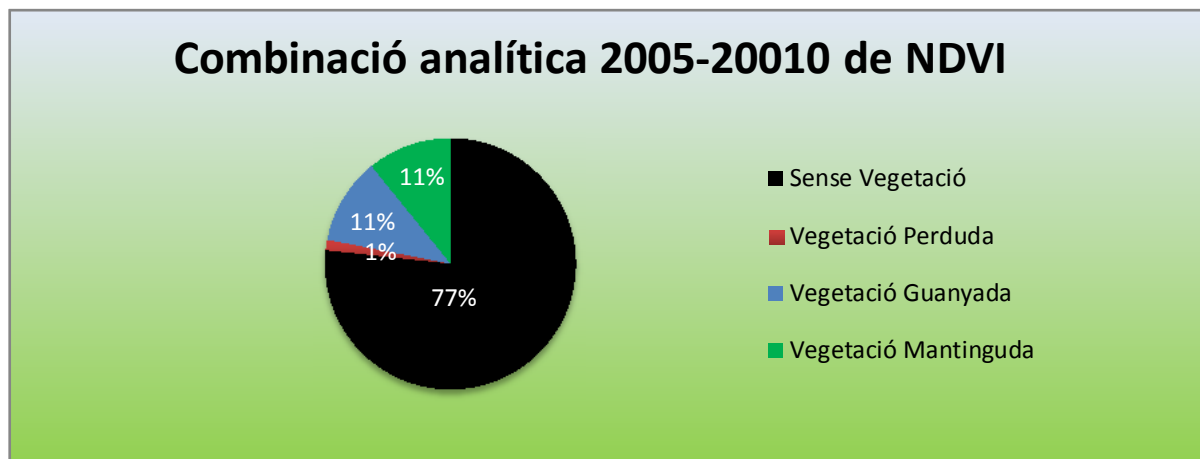


Figura 311. Gràfica en percentatges dels resultats de la combinació analítica NDVI entre 2005 i 2010

	0	1
0	87.4	11.0
1	12.6	89.0
	100	100

Taula 12. Taula de percentatge de 2005 sobre 2010 (%)

	0	1	
0	98.3	1.7	100
1	50.6	49.4	100

Taula 13. Taula de percentatges de 2010 sobre 2005 (%)

Si sumem els canvis produïts en la vegetació guanyada, 261,24 (01) i la vegetació perduda, 31,48 (10), ens dona un total de **292,72 hectàrees**, valor molt semblant al resultat de la subtracció d'imatges NDVI realitzat, **302,52 hectàrees**. Els resultats obtingut amb la **subtracció d'imatges** banda a banda per determinar els valors de canvis totals son els següents:

SUBTRACCIÓ D'IMATGES				
bandes restades	G(2010-2005)	R(2010-2005)	Rp(2010-2005)	Rm(2010-2005)
cel·les	322839	265783	369681	366197
hectàrees	209,84535	172,75895	240,29265	238,02805
pro mig	215,23125 hectàrees			

Taula 14. Resultats de la Subtracció d'imatges.

A continuació també es mostren els resultats en número d'hectàrees d'aigua, sòl urbà i edificacions de les dues **imatges extremes restituïdes**, la de 2005 i la de 2010, gràcies a el càlcul de dimensions de les superfícies realitzades amb programes de dibuix.

	RESTITUCIÓ FOTOGRAMÈTRICA	
	2005	2010
AIGUA	1226,17 hectàrees	1101,31 hectàrees
SÒL URBÀ	994,17 hectàrees	1036,16 hectàrees
EDIFICACIONS	131,66 hectàrees	214,57 hectàrees

Taula 15. Resultats de la Restitució

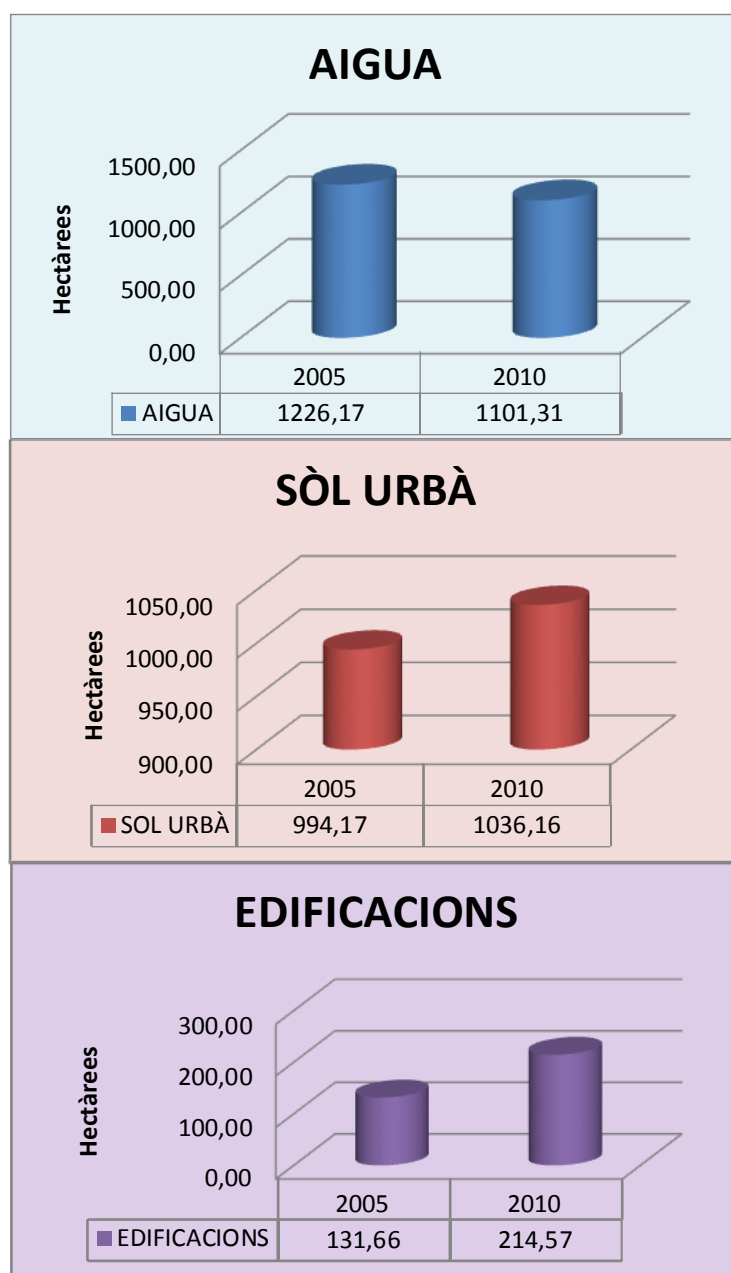


Figura 12. Gràfiques dels resultats numèrics obtinguts amb la restitució

9. CONCLUSIONS

Estem a la segona dècada del segle XXI, vivim en l'era digital, es realitzen avenços tecnològics i informàtics enormes cada dia, la societat està canviant, les carreres universitàries també ho pateixen. Enginyeria Tècnica en Topografia ha desaparegut donant pas al grau en Geomàtica i Topografia. Avui dia, quan és necessari realitzar un aixecament extens no es recorre a les tècniques de la topografia clàssica, utilitzem tècniques fotogramètriques o de teledetecció, que ens aporten una ràpida visualització, mesura i anàlisi del terreny. Gràcies a aquest avenç tecnològic experimentat en les últimes dècades. Tot hi així, aquestes tècniques tenen problemes i defectes que segurament es solucionaran amb el temps.

A priori, aquest treball pretenia realitzar un estudi de detecció de canvis amb tècniques de teledetecció. Personalment he quedat satisfet dels resultats obtinguts. A continuació s'expliquen les conclusions a les que he arribat un cop realitzats tots els **mètodes d'anàlisi multi temporals**:

- La tècnica **d'anàlisi visual** ha sigut de gran ajuda, ja que ha pogut mostrar els canvis produïts en el temps, tot hi no poder-los quantificar, i ha pogut guiar-nos visualment a l'hora d'interpretar les zones de canvi detectades finalment.

- He quedat totalment satisfet amb els **índex de vegetació** realitzats així com la combinació analítica entre les dues imatges més extremes i els resultats numèrics obtingut de canvis. No ha sigut igual pels **índex d'aigua** ja que a l'hora d'agafar els valor d'aigua els resultats no eren del tot evidents.

- És necessari descartar les **classificacions**, tant la supervisada com la no supervisada, ja que cap de les dues ha donat resultats satisfactoris perquè l'alta resolució espectral de les imatges ha fet que la classificació realitzada pel programa de tractament d'imatges no fos de bona qualitat. A més, les bondats de les classificacions donades per les **matrius de confusió** no eren tolerables per comparar imatges. Per això ha sigut molt necessària la incorporació de la **restitució fotogramètrica**, que gràcies a ella s'ha pogut extreure amb fiabilitat la informació numèrica necessària per arribar a comparar les imatges i arribar a la detecció de canvis, amb resultats òptims.

- La tècnica de **subtracció d'imatges** ha sigut plenament satisfactòria ja que hem pogut quantificar numèricament els canvis produïts en superfícies en els 5 anys, tot i que no s'han pogut classificar-los, comparats amb els resultats de la restitució, han sigut bastant semblants. Cal destacar aquesta tècnica d'anàlisi multi temporal com la millor i més satisfactòria de totes a l'hora de detectar els canvis en imatges.

També cal destacar la importància que va tenir al principi, des de que es van obtenir les imatges, la correcta utilització i **canvis de format**, a l'hora d'importar i exportar diferents formats d'imatge, per arribar a utilitzar un programa diferent de tractament d'imatges. Al no tenir un programa únic per realitzar les tècniques de teledetecció necessàries per l'estudi, ha dificultat molt el procés degut a aquest problema esmentat amb els formats.

També ha sigut molt satisfactòria com a experiència la sortida a camp per la pressa de dades amb instrumentació topogràfica, específicament amb receptors GPS, per a la **georeferenciació** de les imatges. El contacte amb la maquinària instrumental, l'orientació a camp amb la interpretació dels plànols i de les imatges, la captura de dades i la seva posterior descàrrega de dades a ganivet, la òptima manipulació de les dades en les transformacions de sistemes de referència (dàtums ED50-ETRS89), han sigut valors i coneixements adquirits necessaris per a tot futur enginyer tècnic en topografia.

Per acabar és interessant comentar que els resultats numèrics dels canvis haurien sigut més notoris i més significatius si s'haguessin agafat imatges anteriors al 2005, on eren més patents els contrastos i els canvis en la coberta del sòl, però no va ser possible aconseguir imatges anteriors a aquesta data ja que la font (Plan Nacional de Teledetección) no disposava d'imatges gratuïtes operatives per cedir. Per altre banda, s'ha de reconèixer l'alta qualitat de les imatges SPOT adquirides ja que no va ser necessari realitzar cap tipus de correcció radiomètrica, com s'havia proposat des del principi, ja que les imatges contenien una correcció atmosfèrica que eliminava qualsevol reflectància o distorsió.

Amb motiu de la meua alta implicació en aquest projecte, espero que sigui d'utilitat en futurs estudis en la zona del Delta del Llobregat o que s'apliqui la metodologia seguida en aquest treball per altres estudis de detecció de canvis.

10. BIBLIOGRAFIA

Buil, F., *"Apunts Fotogrametria Analítica i Digital"* (ETT-EPSEB-UPC)

Chuvieco Salinera, E., *"Teledetección ambiental"* (Ediciones Ariel Ciencia)

Fernández García, F., *"Introducción a la fotointerpretación"* (Ed Ariel Geografía)

Gràcia Gómez, C., *"Apunts Tècniques de posicionament global y navegació"* (ETT-EPSEB-UPC)

ICC, *"Detecció de canvis en les cobertes artificials a Catalunya"* (Generalitat de Catalunya)

López-Cuervo y Estévez, S., *"Topografía"* (Ediciones Mundi-Prensa)

Puig Polo, C., *"Apunts Teledetecció"* (ETT-EPSEB -UPC)

Universidad de Valladolid-León, *"Análisis multitemporal de imágenes de satélite"* (Article RSeduca)

Valera Pertegàs, S., *"Impacte ambiental del desviament del riu Llobregat en el municipi de el prat : aspectes socials"* (Universitat de Barcelona)

Valls, A., *"Apunts Fotogrametria Digital"* (ETT-EPSEB-UPC)

Villate Bonilla, E., Torres Nieto, A., *"Topografía"* (Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería)

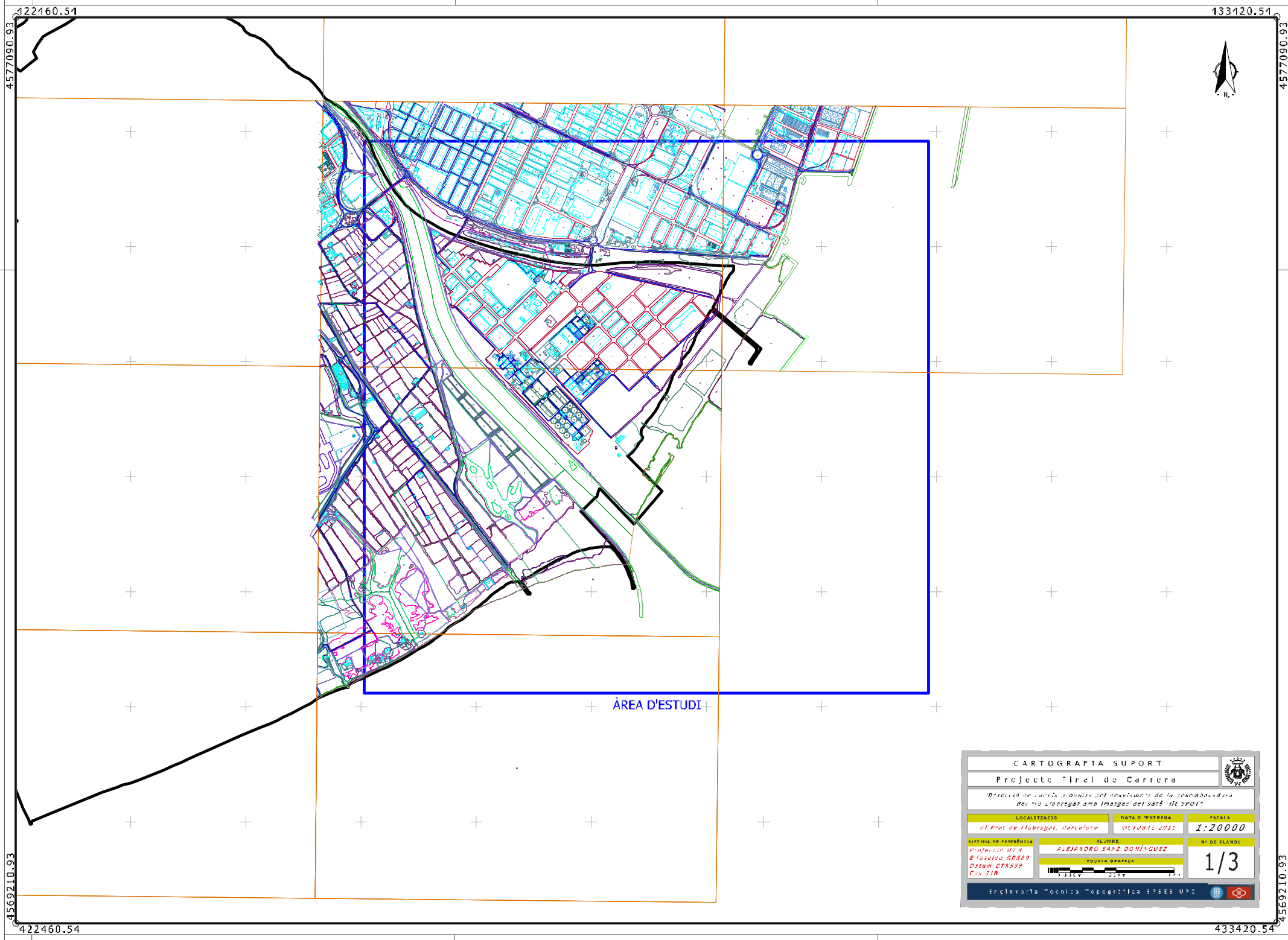
11. AGRAÏMENTS

Agraeixo a **Càrol Puig Polo**, la tutora d'aquest projecte de fi de carrera, per la seva disposició, el seu suport i ajuda en la realització de totes les tècniques de la teledetecció, i especialment en el procés d'obtenció de les imatges de satèl·lit, que gràcies a ella es va poder contactar amb alts càrrecs del PNT per agilitar l'adquisició de les imatges i dades necessàries per l'estudi.

I també vull agrair a **GEOMEDI SLP**, concretament als integrats de l'empresa, per la seva generositat en torn a la cessió dels aparells topogràfics (GPS Leica) necessaris per la realització de la pressa de dades a camp per la georeferenciació de les imatges, la seva disponibilitat oferta en quan a maquinària d'anàlisi, així com l'amistat i coneixements aportats durant anys.

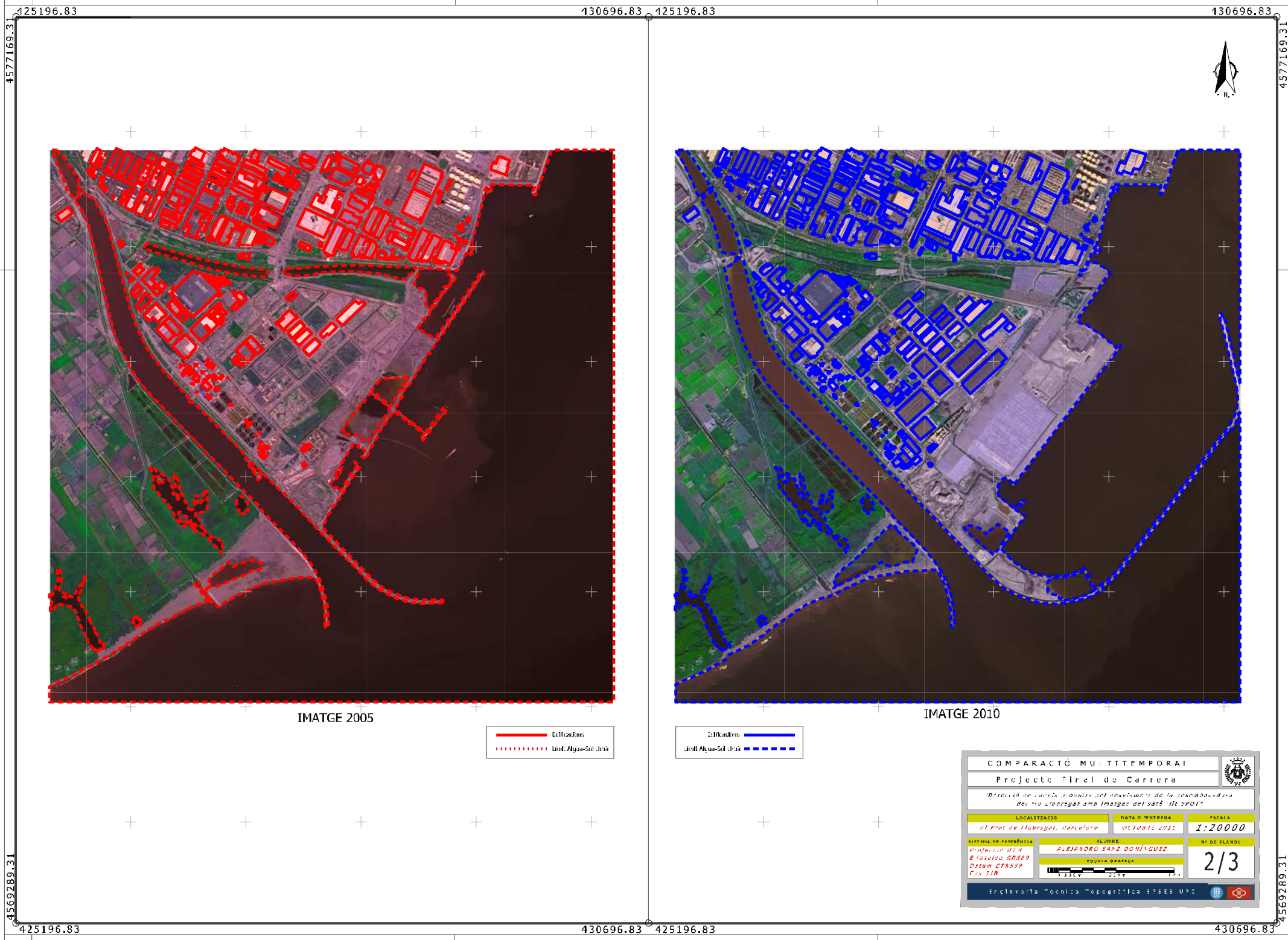
12. CONTINGUT DEL CD

- ▲ PFC ALEJANDRO SANZ DOMÍNGUEZ
 - ▲ ANÀLISI MULTI TEMPORAL
 - ANÀLISI VISUAL
 - COMBINACIÓ ANALÍTICA DE CAPES NDVI
 - ▲ SUBTRACCIÓ D'IMATGES
 - RESTA BANDA A BANDA
 - RESTA NDVI
 - ▲ GEOREFERENCIACIÓ (DADES CAMP)
 - ▷ DADES GPS CAMP
 - IMATGES CAMP
 - PLANOL PUNTS
 - ▷ PROJECTE SKIPRO
 - ▲ IMATGES ANY 2005
 - 2005 CLASSIFICACIÓ NO SUPERVISADA
 - 2005 CLASSIFICACIÓ SUPERVISADA
 - 2005 NDVI
 - 2005 NDWI
 - IMATGE 2005 RETALLADA+FUSIONADA+GEOREFEREN
 - ▷ IMATGES ANY 2006
 - ▷ IMATGES ANY 2007
 - ▷ IMATGES ANY 2008
 - ▷ IMATGES ANY 2009
 - ▷ IMATGES ANY 2010
 - ▷ MOSTRES
 - ▷ RESTITUCIÓ (PLÀNOLS)
- W PFC Alejandro Sanz Domínguez.docx
- P PFC Alejandro Sanz Domínguez.pdf
- X RESULTATS.xlsx



ÀREA D'ESTUDI

CARTOGRAFIA SUPORT		
Projecte Final de Carrera		
"Direcció de l'urbanització del sector de la desembocadura del riu Llobregat amb imatges del satèl·lit SPOT"		
LOCALITZACIÓ	DATA D'ENTREGA	ESCALA
El Prat de Llobregat, Barcelona	05/08/2012	1:20000
SISTEMA DE COORDINACIÓ	AUTORIA	Nº DE PLÀNOL
Projecció UTM Escala GR50 Datum ETRS89 Fus 31N	ALEJANDRO SANZ DOMÍNGUEZ	1/3
Escala gràfica		
Escala numèrica		
Escala vertical		



IMATGE 2005

Edificacions
Limit Aigua-Sol Úria



IMATGE 2010

Edificacions
Limit Aigua-Sol Úria

COMPARACIÓ MULTITEMPORAL			
Projecte Final de Carrera			
"Direcció de l'aigua al llarg del curs de la desembocadura del riu Llobregat amb imatges del satèl·lit SPOT"			
LOCALITZACIÓ	DATA D'ENTREGA	PÀGINA	
El Prat de Llobregat, Barcelona	05/10/2022	1/2000	
SISTEMA DE COORDINACIÓ	ALUMNE	Nº DE FOLLIS	
Projecció UTM E l'el·lipse GR500 Datum ETR55 Fus 31N	ALEJANDRO SANZ DOMÍNGUEZ	2/3	
Escala gràfica			
Enginyeria Tècnica Topogràfica EPSEB UPC			

422460.54

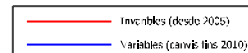
433420.54

4577090.93

4577090.93



IMATGE 2010



MAPA DE CANVIS		
Projecte Final de Carrera		
"Detecció de canvis produïts pel desviament de la desembocadura del riu Llobregat amb imatges del satèl·lit 2010"		
LLOCALITAT	DATA D'ENTREGA	ESCALA
El Prat de Llobregat, Barcelona	OCTUBRE 2011	1:20000
SISTEMA DE REFERÈNCIA	ALUMNE	Nº DE FOLIOL
Projecció UTM EIPSOIDA 64580 Datum E74589 PES 314	ALFONSO SANZ DOMÍNGUEZ	3/3
ESCALA GRÀFICA		
Enginyeria - Àrea Operativa - ERSAR S.A.		

4569210.93

4569210.93

422460.54

433420.54



DETECCIÓ DE CANVIS PRODUÏTS PEL DESVIAMENT DE LA DESEMBOCADURA DEL RIU LLOBREGAT AMB IMATGES DEL SATEL·LIT SPOT

Projecte de Fi de Carrera

Alejandro Sanz Domínguez

Enginyeria Tècnica Topogràfica

Escola Politècnica Superior
D' Edificació de Barcelona

